



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Институт
фундаментального
образования

М. А. САВИН
И. В. КЛОЧКОВ

ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Лабораторный практикум



Министерство образования и науки Российской Федерации

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

М. А. Савин, И. В. Клочков

ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Лабораторный практикум

Рекомендовано методическим советом
Уральского федерального университета
для студентов вуза, обучающихся по направлениям подготовки
20.05.01 — Пожарная безопасность,
20.03.01 — Техносферная безопасность

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2017

УДК 614.847(076.8)
ББК 68.9я73-5
С13

Рецензенты:

начальник кафедры пожарной тактики и службы Уральского института ГПС МЧС России, кандидат технических наук, подполковник внутренней службы *С. А. Бараковских*;

начальник ЦУКС ГУ МЧС России по Свердловской области полковник внутренней службы *А. Н. Трушников*

Научный редактор — доктор химических наук, профессор *Л. Н. Маскаева*

Савин, М. А.

С13 Пожарно-спасательная техника : лабораторный практикум / М. А. Савин, И. В. Клочков. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 99, [1] с.
ISBN 978-5-7996-2096-7

Лабораторный практикум по дисциплине «Пожарная техника» разработан в соответствии с программами дисциплин «Пожарная техника», «Пожарная и спасательная техника. Базовые машины», «Спасательная техника и базовые машины» и содержит краткие теоретические сведения, описание лабораторных работ.

Предназначено для специалистов, бакалавров и магистрантов всех форм обучения.

Библиогр.: 34 назв. Рис. 15.

УДК 614.847(076.8)
ББК 68.9я73-5

ISBN 978-5-7996-2096-7

© Уральский федеральный
университет, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный практикум составлен на основании десятилетнего опыта работы кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях УрФУ (ранее — кафедры пожарной безопасности УГТУ-УПИ). При создании практикума учитывался опыт коллектива кафедры пожарной техники Академии ГПС МЧС России (ранее ВИПТШ МВД СССР), которым в 1991 году было подготовлено подобное руководство к занятиям в лаборатории. Принципиальное отличие настоящего издания от указанного состоит в том, что в УрФУ лабораторные работы по дисциплине проводятся не на мотопомпе в помещении лаборатории, а на пожарном автомобиле, т.е. в условиях, максимально приближенных к реальным.

Основным назначением лабораторного практикума является ознакомление обучаемых с методикой экспериментальных исследований различных гидравлических явлений и с методами испытания спецагрегатов пожарных автомобилей, а также усвоение и закрепление теоретического материала по важнейшим разделам и другим отдельным вопросам курса.

Стремление повысить профессиональную направленность практикума проявилось при составлении вводных описаний. Сравнительно подробные описания порядка проведения и оформления работ в данном практикуме с кратким изложением основ теории вопроса по каждой теме преследовали цель способствовать самостоятельной работе обучаемых, что особенно важно для слушателей заочного обучения.

В книге приведен список литературы, использованной при его составлении, которая может быть полезна для более углубленного изучения теоретических основ по вопросам, затронутым в лабораторном практикуме.

Ввиду дефицита учебного времени лабораторный практикум охватывает основные разделы дисциплины и содержит 5 лабораторных работ, которые подготовлены в соответствии с целевыми установками кафедры. Приведенные лабораторные работы моделируют наиболее важные этапы процесса пожаротушения и ликвидации ЧС, в частности, обеспечение безаварийного следования к месту вызова оперативных расчетов на пожарных автомобилях с максимально возможной скоростью, а также надежной работы насосно-рукавных систем.

Задачами лабораторных работ по дисциплине «Пожарная техника» являются:

- 1) установление связей теории с практикой в форме экспериментального подтверждения положений теории;
- 2) приобретение практических навыков по организации и проведению активных экспериментов, обработке полученных данных;
- 3) формирование умений анализировать полученные результаты, сопоставлять их с теоретическими положениями и нормативными требованиями, расчетными данными, выносить обоснованные суждения;
- 4) контроль самостоятельной работы обучаемых по освоению курса.

Реализация указанных задач позволит кафедре достичь цели практикума — повысить качество подготовки выпускника института по данному курсу.

Исходя из задач лабораторных работ при освоении дисциплины, обучаемый должен научиться:

- 1) технически грамотно пояснить устройство основного оборудования и приборов испытательной установки, а также правила их эксплуатации;

- 2) самостоятельно провести научно-экспериментальное исследование какого-либо вопроса рабочего процесса спец-агрегата или пожарного автомобиля в целом, включая обработку результатов испытания;
- 3) правильно и четко объяснить основные закономерности и явления, полученные при испытаниях.

Приведенные в указаниях лабораторные работы носят исследовательский характер и прививают обучаемым навыки активно-го научного эксперимента.

Правила при выполнении лабораторных работ

При выполнении учебных лабораторных работ установлены следующие правила.

1. К лабораторной работе обучаемый допускается только после предварительного изучения теории вопроса, предлагаемого к исследованию, ее вводного описания и сдачи преподавателю коллоквиума по теоретическим и практическим вопросам, относящимся к данной работе.

2. До проведения лабораторной работы следует подготовить в специальной тетради соответствующие схемы, протоколы наблюдений, расчетные формулы, ознакомиться с приборами и оборудованием, которые будут применяться при выполнении работы, т. е. подготовить бланк отчета.

3. Каждая работа выполняется звеном в составе 7—15 человек под руководством преподавателя.

4. Обработка результатов испытания и оформление отчета выполняются индивидуально.

Отчет о каждой лабораторной работе (см. прил. 1) выполняется в специальной тетради лабораторных работ, в которой каждый обучаемый записывает выполненные звеном измерения, чертит схему установки и заносит результаты обработки экспериментальных данных в виде таблиц, графиков и аппроксимирующих

функций. Кроме того, проводит анализ полученных результатов, сопоставляет их с известными теоретическими положениями или эмпирическими нормативными данными, обобщает результаты исследований в виде выводов по работе и готовится к ответам на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях к лабораторной работе.

5. Готовый и правильно оформленный отчет по итогам выполненной лабораторной работы сдается на следующем занятии.

6. После проверки преподавателем организуется защита выполненной работы. Обучаемый при защите должен правильно ответить на контрольные вопросы, задаваемые преподавателем. По итогам защиты лабораторной работы обучаемым выставляются оценки.

Согласно приказу Минтруда России от 23.12.2014 г. № 1100 Н с учебной группой перед началом лабораторной работы под роспись проводится вводный инструктаж с отметкой в журнале учета проведенных инструктажей по охране труда с личным составом. В соответствии с данным приказом на лабораторном занятии необходимо соблюсти следующие правила по охране труда.

1. Пожарный автомобиль должен быть технически исправен.

2. Запрещается устанавливать пожарный автомобиль поперек проезжей части дороги.

3. Пожарный автомобиль следует поставить на ручной тормоз и на противооткатные упоры.

4. Отвод отработавших газов двигателя пожарного автомобиля следует обеспечить посредством подсоединения к выхлопной трубе глушителя пожарного рукава.

5. Для исключения травмирования обучаемых (и не в ущерб истине) вместо пожарных стволов применяются дозирующие шайбы с центральными отверстиями разных диаметров, соответствующие насадкам стволов.

6. Все действия обучаемых на занятии осуществляются строго по команде преподавателя.

7. Подача воды в рукавные линии разрешается только по приказанию преподавателя.

8. При подаче воды в рукавные линии следует постепенно повышать напор.

9. Каждый опыт завершается по команде преподавателя.

10. Покидать место проведения занятия и место сосредоточения группы во время перерыва без разрешения преподавателя запрещается!

11. Обливать водой обучаемых и преподавателей, пожарный автомобиль запрещается!

12. Купание в открытом водоисточнике запрещается!

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Снятие напорной характеристики пожарного центробежного насоса

1. Общие теоретические сведения

Насос — согласно ГОСТ 17398—72 «Насосы. Термины и определения» — это машина для создания потока жидкой среды.

Центробежный насос — лопастной насос, в котором жидкая среда перемещается через рабочее колесо от центра к периферии.

Пожарный центробежный насос — это насосный агрегат, состоящий из собственно насоса, напорного коллектора, запорно-регулирующей арматуры, вакуумной системы заполнения, системы подачи и дозирования пенообразователя.

По НПБ-176—98 «Техника пожарная. Насосы центробежные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний» центробежные пожарные насосы имеют одиннадцать основных параметров и размеров: подачу, напор, геометрическую высоту всасывания, мощность, коэффициент полезного действия, частоту вращения, допустимый кавитационный запас, массу и др.

Для центробежного пожарного насоса предельно допустимая температура воды или водных растворов составляет 303 К.

Подача насоса Q , м³/с, — отношение объема подаваемой жидкой среды ко времени.

Напор насоса H , м, — это разность удельной механической энергии жидкости на выходе и входе в рабочее колесо, определяемая по зависимости

$$H = H_{\text{м}} \pm H_{\text{в}} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1), \quad (1.1)$$

где $H_{\text{м}}$ — показания манометра, м вод. ст.; $H_{\text{в}}$ — показания мановакуумметра, м вод. ст.; v_2 и v_1 — скорость жидкой среды на выходе и на входе в насос, м/с; g — ускорение свободного падения, м/с²; $(Z_2 - Z_1)$ — высота центра тяжести сечения выхода и входа в насос, м.

Геометрическая высота всасывания $h_{\text{г}}$ — расстояние между осью вращения рабочего колеса первой ступени насоса и уровнем воды со стороны линии всасывания.

КПД насоса — это отношение эффективной мощности насоса к потребляемой (полной)

$$\eta = \frac{N_{\text{эфф}}}{N_{\text{п}}}. \quad (1.2)$$

Эффективная мощность насоса $N_{\text{эфф}}$, кВт, — механическая мощность, сообщаемая насосом подаваемой жидкой среде, определяемая по зависимости

$$N_{\text{эфф}} = \frac{\rho g Q H}{1000}, \quad (1.3)$$

где ρ — плотность жидкости, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; Q — подача, м³/с; H — напор, м вод. ст.

Потребляемая (полная) мощность насоса $N_{\text{п}}$, кВт, — мощность, передаваемая насосу от его привода, определяется по формуле

$$N_{\text{п}} = M \omega, \quad (1.4)$$

где M — крутящий момент на валу насоса, Н·м; ω — угловая частота вращения, рад/с (с⁻¹).

Напорная характеристика представляет собой зависимость полного напора от его подачи, приведенных к номинальной частоте вращения насоса, т. е. $H = f(Q)$ при $n = \text{const}$.

Энергетическая характеристика представляет собой зависимость потребляемой мощности насоса и его КПД от подачи, приведенных к номинальной частоте вращения, т.е. $N = f(Q)$ и $\eta = f(Q)$ при $n = \text{const}$.

Манометрическое давление — избыток давления в данной точке жидкости над атмосферным.

Если известны напор, подача, мощность насоса при определенной частоте вращения рабочего колеса, то можно пересчитать эти параметры для другой частоты вращения рабочего колеса. Для этого используются следующие формулы подобия (если же насос работает на режиме развившейся кавитации, то данные зависимости не действуют!):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2; \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3, \quad (1.5)$$

где n_1 — частота вращения вала насоса при испытании; n_2 — частота вращения вала насоса, на которую должен производиться перерасчет.

Характеристику $H-Q$ насоса при номинальной частоте вращения вала можно аппроксимировать квадратичным уравнением типа $y = ax^2 + bx + c$. Как следует из рис. 1.1, для насоса марки ПН-40УВ коэффициенты составляют: $a = -1,148$; $b = 8,851$; $c = 82,33$. Поэтому получим

$$H = -1,148Q^2 + 8,851Q + 82,33, \quad (1.6)$$

где H — напор насоса, м; Q — подача, м³/с.

Для насоса марки НЦПН-40/100 коэффициенты составляют: $a = -1,315$; $b = +10,16$; $c = 88,69$.

Знание формы кривой характеристики пожарного центробежного насоса и методики проведения параметрических испытаний насосных установок пожарных автомобилей важно на практике:

1) для принятия тактически правильных решений при тушении пожаров водой или пеной, прежде всего, в высотных зданиях и сооружениях;

2) организации правильной эксплуатации насосных установок пожарных автомобилей (проведения диагностирования и ТО-2);

3) готовности выпускников института к эффективному участию в организации и проведении сертификационных и иных испытаний насосных установок и к обработке полученных результатов.

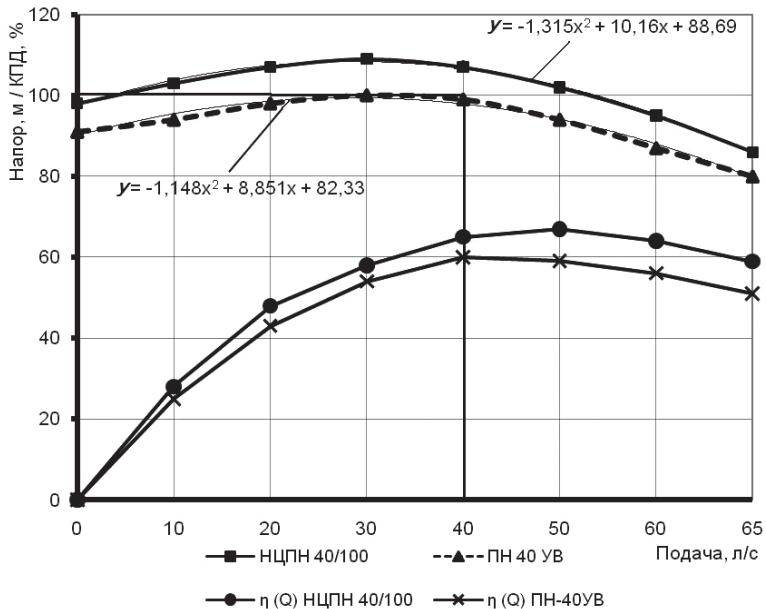


Рис. 1.1. Характеристики пожарных насосов НЦПН-40/100 и ПН-40УВ (по данным «УСПТК-Пожгидравлика»)

Цель работы

Лабораторная работа проводится для закрепления теоретических знаний обучаемых по теме «Пожарные насосы и мотопомпы» и практического освоения методики параметрических испытаний

насосных установок пожарной техники согласно требованиям действующих нормативных документов, а также приобретения навыков построения напорной характеристики центробежного пожарного насоса по экспериментальным данным.

Задачи лабораторной работы

Задачи работы следующие:

- 1) изучить основные положения и расчетные зависимости;
- 2) экспериментально определить по опытным данным форму кривых гидравлических характеристик пожарного центробежного насоса;
- 3) подготовить отчет о работе и ответы на контрольные вопросы.

2. Методика выполнения лабораторной работы

2.1. Описание лабораторной установки

Установка для проведения опытов (рис. 1.2) состоит из пожарного автомобиля, оборудованного насосом центробежным пожарным типоразмера ПН-40, оснащенным штатными манометром, мановакуумметром (оба класса точности 1,5) и тахометром.

Пожарный автомобиль установлен на открытом водоисточнике в лаборатории пожарной техники с подключением следующего пожарного гидравлического оборудования:

- всасывающей рукавной линии, состоящей из одного всасывающего рукава и сетки всасывающей СВ-125;
- двух трехходовых разветвлений РТ-80 с мерными шайбами (отверстия мерных шайб диаметром 22 и 19 мм на центральных выходных и 13 мм на боковых штуцерах);
- шести пожарных рукавов для слива диаметром 77 или 66 мм.

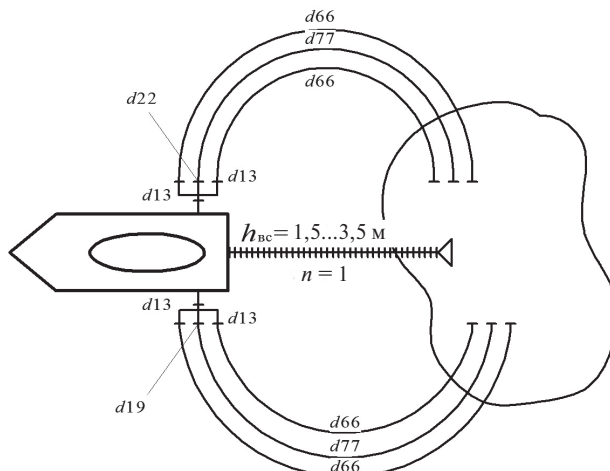


Рис. 1.2. Схема подключения гидравлического оборудования лабораторной установки для проведения параметрических испытаний насосных установок пожарных автомобилей

Кроме того, частота вращения вала рабочего колеса насоса-измеряется штатным тахометром. Для определения величины крутящего момента на валу рабочего колеса спецагрегата используется силоизмерительная система УСТП с тензорезисторным датчиком ДСТ-0,1 К. Для этой же цели может быть применен датчик крутящего момента цифрового типа М40 класса точности 0,2 с блоком индикации Т-40 или Т-41 производства ООО «Тилком» (Беларусь).

2.2. Порядок проведения лабораторной работы

Лабораторная работа выполняется в следующем порядке.

1. Расставить участников испытания для измерения параметров.
2. Запустить двигатель и забрать насосом воду из открытого водоисточника.
3. Включить сцепление.

4. Снять характеристику насоса (не менее 7 точек) путем постепенного увеличения расходов воды, поочередно полностью открывая вентили напорных патрубков разветвлений РТ, при номинальной частоте вращения вала рабочего колеса, для чего:

1) закрыть напорные задвижки правого и левого борта и зафиксировать в протоколе величины напора по манометру на напорном коллекторе и разряжения по мановакуумметру на всасывающей трубке, создаваемые насосом при номинальной частоте вращения вала рабочего колеса. Кроме того, в протокол также занести величину крутящего момента на валу рабочего колеса насоса;

2) рычагом газа убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 1,5–2 атм (0,15–0,2 МПа) по манометру плавно полностью открыть правую и левую напорные задвижки на коллекторе насоса;

3) убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 1,5–2 атм (0,15–0,2 МПа) по манометру плавно открыть вентиль центрального напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к правой напорной задвижке насоса, и довести частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру и разряжения по мановакуумметру, а также величину крутящего момента на валу рабочего колеса занести в протокол;

4) вновь убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 1,5–2 атм (0,15–0,2 МПа) по манометру плавно открыть вентиль центрального напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к левой напорной задвижке насоса. Затем довести частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру и разряжения по мановакуумметру, крутящего момента на валу запротоколировать;

5) при давлении 1,5–2 атм (0,15–0,2 МПа) по манометру плавно полностью открыть вентиль крайнего напорного па-

трубка разветвления РТ, присоединенного к правой напорной задвижке насоса. Затем довести частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру на коллекторе насоса и разряжения по мановакуумметру, создаваемые насосом при номинальной частоте вращения вала рабочего колеса, а также величину крутящего момента на валу рабочего колеса зафиксировать в протоколе опыта;

6) рычагом газа убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 1,5–2 атм (0,15–0,2 МПа) по манометру плавно полностью открыть вентиль другого крайнего напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к правой напорной задвижке насоса, и увеличить частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру на коллекторе насоса, разряжения по мановакуумметру и величину крутящего момента на валу занести в протокол;

7) вновь убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 1,5–2 атм (0,15–0,2 МПа) по манометру плавно открыть вентиль крайнего напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к левой напорной задвижке насоса, и довести частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений величин напора по манометру и разряжения по мановакуумметру, крутящего момента занести в протокол;

8) снова убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 1,5–2 атм (0,15–0,2 МПа) по манометру плавно открыть вентиль другого крайнего напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к левой напорной задвижке насоса, (таким образом будут открыты все вентили на обоих разветвлениях РТ) и увеличить частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру и разряжения по мановакуумметру, крутящего момента также запротоколировать.

5. Затем следует повторить подобные опыты, но уже при постепенном уменьшении расходов воды посредством поочередного прикрытия вентилей напорных патрубков разветвлений РТ при номинальной частоте вращения вала рабочего колеса насоса. Результаты замеров зафиксировать в протоколе.

6. Зарегистрированные величины напоров (равно как и разрежений), создаваемых насосом при различных расходах, а также крутящих моментов будут, таким образом, определяться как среднее арифметическое результатов соответствующих замеров.

7. Для достоверности результатов подобные опыты при номинальной частоте вращения вала рабочего колеса насоса следует повторить трижды.

8. Затем опыты по п. 4–6 следует произвести при частоте, отличной от номинальной частоты вращения вала рабочего колеса пожарного насоса, например при $n = 80 \% n_{\text{номинал}}$. Их результаты будут необходимы для определения эмпирических коэффициентов a , b и c аппроксимирующей функции (1.6).

3. Обработка экспериментальных данных

Измеренные и рассчитанные величины занести в протокол (с. 19).

Подача насоса определяется по известным диаметрам отверстий мерных шайб после разветвлений РТ, давлению на выходе из насоса (по манометру) и справочным данным НПБ 163–97 «Пожарная техника. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытания», выписка из которых приведена в табл. П. 2.1.

Скорость воды на выходе и на входе в насос v_2 и v_1 определяется с учетом площадей соответствующих сечений исходя из уравнения неразрывности потока

$$Q = vS.$$

Напор насоса определяется по формуле (1.1).

Полезную мощность насоса, потребляемую мощность насоса, КПД насоса вычисляют соответственно по зависимостям (1.3), (1.4), (1.2).

Затем следует построить характеристики на графике и пересчитать их для частот вращения $n = 80\% n_{\text{номин}}$ и $n = 60\% n_{\text{номин}}$. При перерасчете и построении характеристик следует использовать формулы подобия (1.5).

Нанести на график полученные расчетом кривые напорной и энергетической характеристик насоса $H = f(Q)$, $N = f(Q)$ и $\eta = f(Q)$.

Данные протокола экспериментов (с. 19) будут необходимы для определения аппроксимирующей функции в виде квадратичного уравнения (1.6).

Вопросы для подготовки к защите работы

1. Насосы и их классификация.
2. Каково принципиальное устройство объемных насосов: поршневых, шестеренных, шибберных — и их применение в устройствах пожарной техники?
3. Каково принципиальное устройство динамических насосов: центробежных, струйных — и их применение в устройствах пожарной техники?
4. Каковы гидравлические характеристики центробежных насосов?
5. Какова высота всасывания насосов и каковы факторы, влияющие на ее величину?
6. Практическая сущность уравнения Л. Эйлера.
7. Каковы номинальные режимы насосов ПН-40УВ и НЦПН-40/100? Объясните, почему именно эти параметры являются номинальными.

8. Тепловые эффекты при эксплуатации центробежных насосов.

9. Как изменяются параметры насоса при открывании (закрывании) задвижек на насосе и изменении положения рычага «газ»?

10. Основные конструктивные элементы центробежных пожарных насосов.

11. Какими конструктивными решениями достигается уплотнение вала рабочего колеса центробежного насоса?

12. Конструкции напорных задвижек насосов: достоинства и недостатки.

13. Какие силы действуют на рабочее колесо центробежного насоса при работе? Объясните причины возникновения этих сил.

14. Назовите мероприятия, направленные на ослабление осевых сил, действующих на рабочее колесо центробежного насоса при работе.

15. Какова методика проверки технического состояния насоса?

16. Какова методика проверки пожарных насосов на герметичность?

17. Цель и порядок опрессовки пожарного центробежного насоса.

18. Цель обкатки, порядок и режимы обкатки пожарных насосов перед постановкой в расчет.

19. Перечислите работы по техническому обслуживанию насосов пожарных автомобилей на пожаре.

20. Перечислите работы по ТО-1 для насосов пожарных автомобилей.

21. Перечислите возможные отказы насосов пожарных автомобилей.

Протокол экспериментов по снятию характеристик пожарного центробежного насоса марки _____

Частота вращения вала рабочего колеса, об/мин с	Условия опыта	Давление				Расход насоса		Скорость потока, м/с			Напор насоса, м	Полезная мощность насоса, кВт	Крутящий момент на валу рабочего колеса, Н·м	Потребляемая насосом мощность, кВт	КПД насоса	
		на выходе из насоса	на входе в насос	МПа м	МПа м	л/с	м³/с	на выходе из насоса	на входе в насос							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	0	
1. 2700 45	Закрыты обе напорные задвижки					0	0					0				
2. «	Открыт центральный вентиль правого РТ															
3. «	Открыт центральный вентиль левого РТ															
4. «	Открыт боковой вентиль правого РТ															
5. «	Открыт 2-й боковой вентиль правого РТ															

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6. 2700 45	Открыт боковой вентиль левого РГ													
7. «	Открыт 2-й бо- ковой вентиль левого РГ													

Подпись студента _____ Группа № _____
Подпись преподавателя _____ Дата _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Определение технического состояния пожарного насоса

1. Общие теоретические сведения

Исправная работа специальных агрегатов непосредственно влияет на оптимальное функционирование пожарного автомобиля при тушении пожара или проведении аварийно-спасательных работ. Так, время боевого развертывания автоцистерн и автонасосов в большой степени зависит от исправности системы забора воды, состояния соединительных головок пожарных рукавов и съемного гидравлического оборудования, а во время тушения пожара существенно влияет техническое состояние агрегатов, обеспечивающих подачу огнетушащего вещества в очаг пожара.

В процессе эксплуатации, особенно в стационарных режимах работы, изнашиваются спецагрегаты пожарных автомобилей, что ведет к ухудшению их технических параметров, таких как подача и напор пожарного насоса, степень разряжения, создаваемого вакуумной системой, скорость падения герметичности в насосном агрегате и т. д.

Статистические исследования показывают, что более 60 % всех неисправностей пожарных автомобилей приходится на спецагрегаты. Для оценки технического состояния используют стенды,

приборы, устройства и приспособления, позволяющие оценивать функциональные параметры: подачу и напор пожарного насоса, степень разряжения, создаваемого вакуумной системой, герметичность пожарного насоса и коммуникаций и т. д.

В процессе эксплуатации в насосах изнашиваются поверхности рабочих колес, подшипники, уплотнения вала и т. д. Интенсифицируют износ присутствующие в воде пенообразующие жидкости, абразив (взвеси), смачиватели, а также кавитационные режимы эксплуатации.

Для описания величин напора, развиваемого насосом ПН-40УА, и его подачи (для частоты вращения рабочего колеса, близкой к номинальной) получены следующие математические модели:

для напора

$$H = 25,28 + 2,88 \cdot 10^{-2} n - 12,12 b - 1,36 \cdot 10^{-2} s;$$

для подачи

$$Q = 5,15 + 1,31 \cdot 10^{-2} n - 2,56 b - 0,318 \cdot 10^{-2} s,$$

где H — напор насоса, м; Q — подача насоса, $(\text{м}^3/\text{с}) \cdot 10^{-3}$; n — частота вращения вала насоса, об/мин; b — зазор в щелевом уплотнении на сторону, мм; s — уменьшение площади проточных каналов рабочего колеса, мм^2 .

Анализ представленных математических моделей позволяет утверждать, что решающее влияние на характеристики насоса — величины напора, развиваемого насосом, и его подачи b — оказывает размер зазора в уплотнении. Вторым по значимости фактором является частота вращения вала насоса n . Наконец, определенное негативное влияние оказывает также засорение полостей рабочего колеса s .

Таким образом, на основные характеристики насоса — напор и подачу — наибольшее влияние оказывают износы щелевых уплотнений. Величина b зазора в них выражается аналитически

$$b = 0,65 \lg \tau - 1,11,$$

где τ — наработка насоса, ч.

Увеличение зазора в уплотнениях, уменьшение площади проточных каналов рабочего колеса приводит к изменению характеристики насоса (рис. 2.1).

Очевидно, что уменьшение износа может быть обеспечено, в частности, правильным забором воды, наличием и исправностью сетки на линии всасывания, в том числе фильтра на всасывающем патрубке насоса.

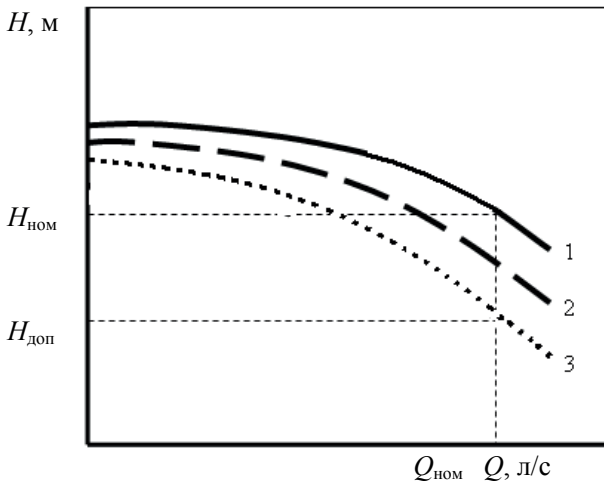


Рис. 2.1. Характеристика $Q-H$ пожарного насоса:
1 — нового (исправного); 2, 3 — насоса с неисправностью

ГОСТ Р 53328–2009 установлены следующие требования надежности спецагрегатов пожарных автомобилей:

- 1) гамма-процентная ($\gamma = 80\%$) наработка пожарного насоса и его привода до отказа, не менее:
 - 150 ч для насоса типа ПН-40 УВ;
 - 200 ч для насоса типа НЦП.
- 2) гамма-процентная ($\gamma = 80\%$) наработка вакуумной системы до отказа не менее 450 циклов включений;
- 3) гамма-процентный ($\gamma = 80\%$) ресурс специальных агрега-

тов пожарных автомобилей (ПА) до первого капитального ремонта не менее 1500 ч.

Каждый из приведенных показателей оказывает влияние на качество пожарного насоса как составной части пожарной машины и, следовательно, на качество и эффективность последней. Поэтому поддержание работоспособности насосной установки в процессе эксплуатации является одной из важных задач технической службы пожарной охраны.

Согласно действующим нормативным документам:

1) приказу МЧС России от 18.09.2012 г. № 555. «Об организации материально-технического обеспечения системы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»;

2) типовой технологии технического обслуживания пожарных автомобилей

— в процессе эксплуатации проводятся следующие работы по определению технического состояния пожарного насоса.

При контрольном осмотре и техническом обслуживании (при возвращении с пожара, с аварийно-спасательных и других неотложных работ), а также при смене караулов (дежурных смен, расчетов) проверяется работоспособность вакуумной системы по величине создаваемого разряжения в насосе за нормативное время и герметичность насоса по величине падения разряжения.

При ТО-1, т.е. через 1500 км приведенного пробега, не реже одного раза в месяц, проверяется пожарный насос и коммуникации на герметичность, вакуумная система на создаваемое разряжение; производится проверка состояние и исправность пожарного насоса.

При ТО-2 (через 7000 км приведенного пробега, не реже одного раза в год) проверяется работоспособность вакуумной системы по величине создаваемого разряжения в насосе за нормативное время и герметичность насоса по падению разряжения за единицу времени; проверяется техническое состояние насоса забором воды из водоема.

Кроме того, подобные испытания согласно НПБ 176—98 проводятся также при сертификации насосов, а именно:

- герметичности и прочности насоса при испытательном статическом и динамическом давлениях;
- вакуумной системы заполнения;
- параметров при работе с максимальной геометрической высоты всасывания;
- времени непрерывной работы.

Цель лабораторной работы

Лабораторная работа проводится в целях закрепления теоретических знаний обучаемых по теме «Пожарные насосы и мотопомпы» и практического освоения методики проверки технического состояния центробежного пожарного насоса по фактическим значениям параметров характеристик, а также работоспособности вакуум-аппарата и герметичности вакуумной системы согласно требованиям действующих нормативных документов.

Задачи

В процессе выполнения лабораторной работы студентам следует решить следующие задачи:

- 1) изучить вводные теоретические положения;
- 2) экспериментально определить по опытным данным степень износа пожарного центробежного насоса;
- 3) подготовить отчет о работе и ответы на контрольные вопросы.

Практическое значение приобретенных навыков методики проверки технического состояния насосных установок пожарных автомобилей важно:

- 1) для организации правильной и эффективной эксплуатации насосных установок пожарных автомобилей;
- 2) определения остаточного ресурса пожарного насоса, его вакуумной системы и принятия решения о проведении ремонтных воздействий;

3) обеспечения подготовки выпускников института к эффективному участию в организации и проведении проверок, сертификационных (и иных) испытаний насосных установок и обработке полученных результатов.

2. Методика выполнения лабораторной работы

2.1. Описание лабораторной установки

Установка для проверки технического состояния пожарного насоса типа ПН-40 состоит из пожарного автомобиля, оборудованного центробежным пожарным насосом, который оснащен штатными манометром, мановакуумметром (оба класса точности 1,5), а также тахометром.

Для определения технического состояния вакуумной системы пожарного насоса необходимо закрывать все задвижки, вентили и сливной кран насоса, а также закрыть заглушкой всасывающий патрубок.

Для определения технического состояния пожарного насоса пожарный автомобиль установлен на водоисточник по схеме (рис. 2.2) с подключенным пожарным гидравлическим оборудованием:

- 1) со всасывающей рукавной линией, состоящей из двух всасывающих рукавов и сетки всасывающей СВ-125;
- 2) с двумя трехходовыми разветвлениями РТ-80 с отверстиями мерных шайб диаметром 22 и 19 мм на центральных выходных и 13 мм на боковых штуцерах;
- 3) шестью напорными пожарными рукавами диаметром 77 мм или 66 мм.

2.2. Порядок проведения лабораторной работы

Проверка работоспособности вакуум-аппарата
и герметичности вакуумной системы

При данном испытании должна проверяться величина разряжения, создаваемого вакуумным аппаратом в объеме пожарного

системе насоса за 2,5 мин. По разности показаний мановакуумметра подсчитывают падение разряжения в вакуумной системе, которое не должно превышать 0,013 МПа (100 мм рт. ст.).

6. При снижении этих показателей выяснить причины и устранить неисправность. Обнаружить места неплотностей можно опрессовкой насоса водой или воздухом. Опрессовка водой производится созданием в насосе давления от исправного насоса. При этом напорные задвижки должны быть закрыты, а рабочее колесо вращаться. Опрессовка воздухом производится от внешнего источника воздуха созданием давления в насосе 0,2–0,3 МПа. Во время опрессовки воздухом неисправный насос нужно покрывать мыльной пеной.

Определение технического состояния пожарного насоса

Для того чтобы определить техническое состояние пожарного насоса, необходимо выполнить следующее.

1. Установить пожарный автомобиль на водоисточник по схеме (рис. 2.2).
2. Расставить участников испытания для измерения параметров.
3. Запустить двигатель и забрать насосом воду из водоисточника.
4. Включить сцепление.
5. Снять характеристику насоса (не менее семи точек) путем дискретного увеличения расходов воды, поочередно полностью открывая вентили напорных патрубков разветвлений РТ, при номинальной частоте вращения вала рабочего колеса. Если двигатель не обеспечивает номинальную частоту вращения вала насоса, следует производить проверку при максимально возможной частоте вращения, для чего:

1) установить частоту вращения по тахометру на насосе в соответствии с номинальным значением. При закрытых напорных задвижках правого и левого борта определить напор насоса по показаниям манометра на напорном коллекторе и мановакуумметра на всасывающем патрубке и зафиксировать в протоколе эти величины;

2) рычагом газа убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) по манометру плавно полностью открыть на коллекторе насоса правую и левую напорные задвижки;

3) затем плавно полностью открыть вентиль центрального напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к правой напорной задвижке насоса, и довести частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений величин напора по манометру и разряжения по мановакуумметру занести в протокол;

4) рычагом газа убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) по манометру плавно полностью открыть вентиль центрального напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к левой напорной задвижке насоса, и довести частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру на коллекторе насоса и разряжения по мановакуумметру также занести в протокол;

5) вновь понизить частоту вращения вала рабочего колеса насоса до 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) по манометру и плавно полностью открыть вентиль крайнего напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к правой напорной задвижке насоса. Затем повысить частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру и разряжения по мановакуумметру запротоколировать;

6) снова убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) по манометру плавно открыть вентиль другого крайнего напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к правой напорной задвижке насоса, и довести частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру и разряжения по мановакуумметру занести в протокол;

7) убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) по манометру плав-

но открыть вентиль крайнего напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к левой напорной задвижке насоса, и увеличить частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру и разряжения по мановакуумметру занести в протокол;

8) убавить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) по манометру плавно открыть вентиль другого крайнего напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к левой напорной задвижке насоса, (таким образом будут открыты все вентили на обоих разветвлениях РТ и представится возможность снять не менее трех точек при подаче от 35 л/с до максимально возможной при данной частоте вращения) и довести частоту вращения вала рабочего колеса насоса до номинальной. Результаты измерений напора по манометру и разряжения по мановакуумметру занести в протокол.

6. Произвести подобные опыты, но уже в обратном порядке, т. е. при дискретном уменьшении расходов воды, поочередно прикрывая вентили напорных патрубков разветвлений РТ, при номинальной частоте вращения вала рабочего колеса насоса, зафиксировать результаты замеров в протоколе.

7. Зарегистрированные величины напоров по манометру (равно как и разряжений по мановакуумметру), создаваемых насосом при различных расходах, будут, таким образом, определяться как среднее арифметическое результатов соответствующих измерений.

8. Для достоверности результатов подобные опыты при номинальной частоте вращения вала рабочего колеса насоса следует повторить трижды.

3. Обработка экспериментальных данных

Измеренные и рассчитанные величины занести в протокол (с. 34).

Объемная подача насоса определяется по известным диаметрам отверстий мерных шайб после разветвлений РТ, давлению

на выходе из насоса (по манометру) и справочным числовым данным табл. П.2.1 (либо см. табл. П.2.2 НПБ 163–97 «Пожарная техника. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний»).

Величину полного напора, создаваемого насосом H_H , определяют по показаниям штатного манометра H_M и мановакуумметра H_B . При работе от открытого водоисточника модули показаний приборов складываются

$$H_H = |H_M| + |H_B|.$$

Затем следует построить напорную характеристику насоса на графике вручную. Однако для повышения эффективности при обработке полученных экспериментальных данных целесообразнее воспользоваться возможностями пакета прикладных программ MathCAD или табличного процессора Excel, которые предоставляют средства интерполяции данных: позволяют построить график аппроксимирующей кривой; автоматически получить уравнение функции; предсказать дальнейшее поведение функции.

Сравнить полученные значения с графиком на рис. 2.3. Они должны находиться в зоне допустимых значений 1. Снижение расхода насоса более чем на 15 % по сравнению с номинальным значением (см. табл. П.2.1) свидетельствует о засоренности каналов рабочего колеса насоса или износе щелевых уплотнений. В этом случае необходимо произвести осмотр внутренней полости насоса и удалить посторонние предметы и (или) заменить кольца щелевых уплотнений.

При необходимости произвести измерения на пониженной частоте вращения вала и пересчитать полученные значения расхода Q' и напора H' на номинальную (в данном случае $n = 2700 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$) по формулам подобия

$$Q = Q' (n/n');$$

$$H = H' (n/n')^2,$$

где Q и H — подача и напор при номинальной частоте вращения вала насоса ($n = 2700 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$); n' — частота вращения вала при испытаниях.

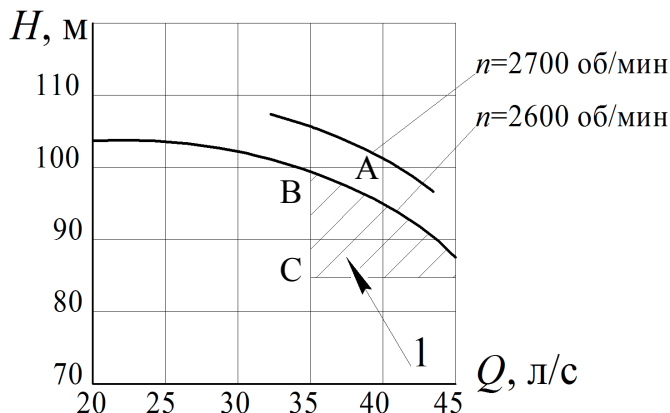


Рис. 2.3. Напорная характеристика насоса типа ПН-40
(1 — зона допустимых значений)

В выводах по лабораторной работе следует перечислить выявленные неисправности и сформулировать задания по их устранению.

Например. При проверке работоспособности вакуум-аппарата и герметичности вакуумной системы встречаются следующие признаки неисправностей:

- 1) мановакуумметр не показывает разрежения;
- 2) разрежение есть, но меньше нормы;
- 3) разрежение создается медленно;
- 4) разрежение создается, но быстро падает.

Если мановакуумметр не показывает разрежение, следует убедиться, что мановакуумметр исправен. Например, заменить его заведомо исправным или проверить на другом насосе. Опрессо-

вать насос водой от водопровода или другого насоса, осмотреть насос под давлением и устранить неплотность.

Если не обеспечивается необходимое разрежение или создается, но медленно, следует проверить наличие и уровень масла в масляном бачке, величину напряжения питания вакуумного агрегата; дозирующее отверстие маслопровода на предмет засора.

Когда разрежение создается, но после выключения вакуум быстро падает, необходимо опрессовать насос и устранить негерметичность вакууммируемого объема.

При определении технического состояния пожарного насоса, если сравнить результаты испытаний за несколько месяцев, хорошо видно, как происходит износ насоса и двигателя. Резкое снижение показателей помогает своевременно обнаружить засорение или поломку. Постепенные снижения показателей позволяют определить ресурс в часах как для насоса, так и для двигателя.

Сетка на всасывающем патрубке предотвращает засор насоса. Однако на практике имеют место случаи ее утраты или демонтажа. При появлении признаков засорения сначала следует осмотреть рабочее колесо через всасывающий патрубок. Крупные предметы остаются на входе колеса. Их хорошо видно и можно удалить при помощи крючков.

На некоторых конструкциях пожарных автоцистерн удастся устранить засор рабочего колеса без разборки насоса следующим образом. Сперва на коробке перемены передач следует включить «Задний ход». Далее полностью открыть задвижку «Из цистерны». Затем включить «КОМ», сцепление и максимально увеличить частоту вращения коленчатого вала двигателя.

Засоренное колесо вызывает биение и быстро выводит насос из строя. Учитывая это, при появлении признаков засорения следует принимать срочные меры к чистке насоса даже в том случае, когда на напор и подачу это не оказывает практического влияния.

Протокол испытаний насоса пожарного центробежного марки _____

Частота вращения вала, об/мин с	Условия опыта	Давление на выходе из насоса		Давление на входе в насос		Напор насоса, м	Подача насоса, л/с	Примеч.
		МПа	м	МПа	м			
1. 2700 45	Закрывают обе напорные задвижки						0	
2. «	Открыт центральный вентиль правого РГ							
3. «	Открыт центральный вентиль левого РГ							
4. «	Открыт боковой вентиль правого РГ							
5. «	Открыт 2-й боковой вентиль правого РГ							
6. «	Открыт боковой вентиль левого РГ							
7. «	Открыт 2-й боковой вентиль левого РГ							

Подпись студента _____

Группа № _____

Подпись преподавателя _____

Дата _____

Вопросы для подготовки к защите работы

1. Опишите устройство и принцип действия центробежных пожарных насосов.
2. Каково назначение направляющего аппарата и спирального отвода?
3. Какими конструктивными решениями достигается уплотнение вала центробежного насоса?
4. Гидравлические характеристики центробежных насосов.
5. Как найти рабочую точку при работе центробежного пожарного насоса с рукавной системой?
6. Неисправности центробежных насосов: их признаки, причины и способы устранения.
7. Перечислите работы по техническому обслуживанию насосов пожарных автомобилей при КО, ЕТО, на пожаре, ТО-1, ТО-2.
8. Какова высота всасывания насосов и каковы факторы, влияющие на ее величину?
9. Устройство вакуумных систем центробежных пожарных насосов: газоструйных, шибберных, поршневых, водокольцевых, вихревых. Их достоинства и недостатки.
10. Какова методика проверки пожарных насосов на герметичность?
11. Неисправности вакуумных систем центробежных насосов: их признаки, причины и способы устранения.

ЛАБОРАТОРНО-РАСЧЕТНАЯ РАБОТА № 3

Снятие кавитационной характеристики пожарного центробежного насоса

1. Общие теоретические сведения

Известно, что любое вещество в зависимости от внешних условий (давление и температура) может находиться в газообразном, жидком, твердом агрегатных состояниях (фазах), а также одновременно в двух или трех состояниях.

Переход вещества из твердого состояния в жидкое называется плавлением, из жидкого в газообразное — испарением, из твердого в газообразное — сублимацией. Обратные процессы соответственно называются кристаллизацией, конденсацией и десублимацией.

Пар — вещество в газообразном состоянии в условиях, когда оно может находиться в равновесии с тем же веществом в конденсированном состоянии (жидком или твердом). Понятие «пар» мало отличается от понятия «газ», поэтому деление это чисто условное. Если пар находится в термодинамическом равновесии с жидкой или твердой фазой того же вещества, он называется насыщенным. Давление насыщенного пара связано определенной для данного вещества зависимостью от температуры. Другими словами, давление насыщенного пара — это функция температуры. Температура кипения любой жидкости постоянна при задан-

ном атмосферном или ином внешнем давлении, но повышается с повышением давления и понижается с его понижением. Когда внешнее давление падает ниже давления насыщенного пара, происходит кипение (жидкости) или сублимация (твердого тела); когда оно выше, напротив, — конденсация или десублимация. Так, к примеру, вода может закипеть при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, если давление составит 17,39 мм рт. ст., т. е. станет значительно ниже атмосферного — 760 мм рт. ст. (0,1 МПа).

Перегретый пар имеет температуру бо́льшую температуры насыщения для данного давления.

Справочные данные. Из 1 л воды при полном ее испарении можно получить 1244,4 л пара. Действительно, литр пресной воды весит 1000 г. Одна грамм-молекула газа (пара) занимает объем 22,4 л. Масса молекулы воды равна 18 г/моль (18 г). Составим пропорцию: 18 г занимают объем 22,4 л, а 1000 г — X . Отсюда $X = 1244,4\text{ л}$, или $1,2444\text{ м}^3$.

2. Физическое явление кавитации

Кавитация (от лат. *cavitas* — пустота) представляет собой сложный комплекс следующих явлений:

1) образование в потоке жидкости большого количества мельчайших полостей (т. н. кавитационных пузырьков, или каверн), наполненных парами жидкости и газами, выделившимися из нее в тех областях, где местное давление жидкости равно или меньше давления ее насыщенных паров. Образование пузырьков внешне похоже на кипение жидкости;

2) местное повышение скорости движения жидкости вследствие стеснения поперечного сечения потока выделившимися пузырьками пара или газа и беспорядочное движение жидкости;

3) конденсация — «схлопывание» кавитационных пузырьков, увлеченных потоком жидкости в область повышенного дав-

ления. Конденсация каждого из пузырьков приводит к резкому уменьшению объема и гидравлическому удару в микроскопических зонах, однако бомбардировка кавитацией большой площади поверхности приводит и к большим площадям разрушения. Многократно повторяющиеся механические воздействия при конденсации пузырьков вызывают механический процесс разрушения материала деталей, что является наиболее опасным следствием кавитации;

4) химическое разрушение металла в зоне кавитации кислородом воздуха, выделившегося из жидкости при прохождении ее в зонах пониженного давления. Этот коррозионный процесс, действующий одновременно с циклическими механическими воздействиями, снижает прочность металла деталей.

Справочные данные. Кавитация называется гидродинамической, если понижение давления происходит вследствие местного повышения скорости в потоке жидкости; акустической, если понижение давления происходит вследствие прохождения в жидкости акустических волн большой интенсивности.

2.1. Полезные применения кавитации

Как известно, «у природы нет плохой погоды...», равно как «плохих» и «хороших» явлений. Отсюда будущему инженеру целью изучения общеобразовательных дисциплин следует ставить уяснение качественных особенностей их проявлений. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем, при разработке технических решений курсовых, дипломных и других проектов, усиливать эффект того или иного природного явления либо, напротив, его нивелировать.

Возьмем, к примеру, явление трения. Для повышения сцепления под колеса автомобиля сыпят щебень, а трамвая или локомотива — песок. Напротив, для минимизации трения и связанных с ним износов и потерь мощности обычно применяют смазку консистентную либо жидкую (последняя предпочтительнее).

Так, хотя кавитация нежелательна во многих случаях, есть исключения. Явление кавитации успешно применяют в промышленности, медицине, военной технике и других областях.

Например, сверхкавитационные торпеды, используемые военными, обволакиваются в большие кавитационные пузыри. Существенно уменьшая контакт с водой, эти торпеды могут передвигаться значительно быстрее, чем обыкновенные торпеды. Например, сверхкавитационная торпеда «Шквал» в зависимости от плотности водной среды развивает скорость до 500 км/ч.

Кавитацию используют для обработки топлива — во время обработки топливо дополнительно окисляется (при проведении химического анализа сразу появляется большее количество смол) и перераспределяется соотношение фракций. Эти изменения, если топливо сразу поступает к потребителю, повышают его качество и калорийность, в результате получается более полное сгорание и уменьшение массовой доли загрязняющих веществ.

Кавитационные процессы имеют высокую разрушительную силу, которую используют для дробления твердых веществ, находящихся в жидкости. Одним из применений таких процессов является измельчение твердых включений в тяжелых топливах, что используется для обработки котельного топлива в целях увеличения калорийности его горения.

Кавитационные устройства снижают вязкость углеводородного топлива, что позволяет снизить необходимый нагрев и увеличить дисперсность распыления топлива форсунками.

Кавитационная дезинтеграция используется в качестве фактора технологического воздействия в процессах и аппаратах при производстве хлебопродуктов и переработке сельхозсырья.

Пожарно-спасательный автомобиль ПСА-С производства ОАО «Варгашинский завод противопожарного и специального оборудования» оборудован высокоэффективным кавитационным теплогенератором конструкции А. Г. Кочурова модели ВТГ-110. В условиях ЧС агрегат предназначен для целей отопления и горячего водоснабжения отдельно стоящих зданий (больницы, род-

дома и др.). Кроме того, он может быть применен для подпитки магистральных пожарных рукавных линий, а также для подогрева воды в цистерне. Аналогичное предназначение имеют роторные кавитационные насосы-теплогенераторы А. Д. Петракова.

Для исключения размораживания цистерны пожарного автомобиля воду предлагается подогревать способом многократной рециркуляции (перепуска) по кругу: цистерна — пожарный насос — кавитаторная насадка — цистерна.

2.2. Кавитация в насосах

Поскольку кавитация — гидродинамическое явление, она зависит от гидродинамических свойств рабочих органов насоса. Кавитация — это также термодинамическое явление. Она зависит от физических свойств жидкости.

Кавитация возникает в местах контакта жидкости с быстро движущимися твердыми объектами (рабочие органы насосов, турбин, гребные винты судов, подводные крылья и т. п.) и неблагоприятно отражается на их работе.

Применительно к насосам сущность этого явления состоит в следующем. При протекании жидкости по межлопастному каналу рабочего колеса насоса, сразу за его входной кромкой, может произойти (в зависимости от частоты вращения вала рабочего колеса) резкое увеличение ее скорости и снижение давления до значения величины, равного значению давления насыщенных паров жидкости $P_{\text{п}}$ при данной температуре либо меньшего его. При этом происходит парообразование (вскипание) жидкости, образование в ней пузырьков пара и даже срыв работы насоса. Положение усугубляется, если насос работает при больших высотах всасывания h и при больших расходах Q . Примерная эпюра напоров в пожарной насосно-рукавной системе в случае работы насоса в режиме кавитации изображена на рис. 3.1.

Таким образом, чем больше разрежение на входе рабочего колеса, тем большая кавитация происходит. Следовательно, нормальная работа центробежного насоса обеспечивается в таком

режиме, когда абсолютное давление во всех точках его внутренней полости больше давления насыщенных паров перекачиваемой жидкости при данной температуре. Поэтому, чтобы жидкость не перешла в пар, давление жидкости на входе в насос $P_{\text{м1}}$ должно быть выше давления насыщенных паров жидкости $P_{\text{п}}$ при данной температуре. Таким образом, поскольку при работе насоса в его всасывающем трубопроводе происходит понижение давления до $P < P_{\text{бар}}$, то условие нормальной работы можно записать в виде неравенства $P_{\text{п}} < P < P_{\text{бар}}$.

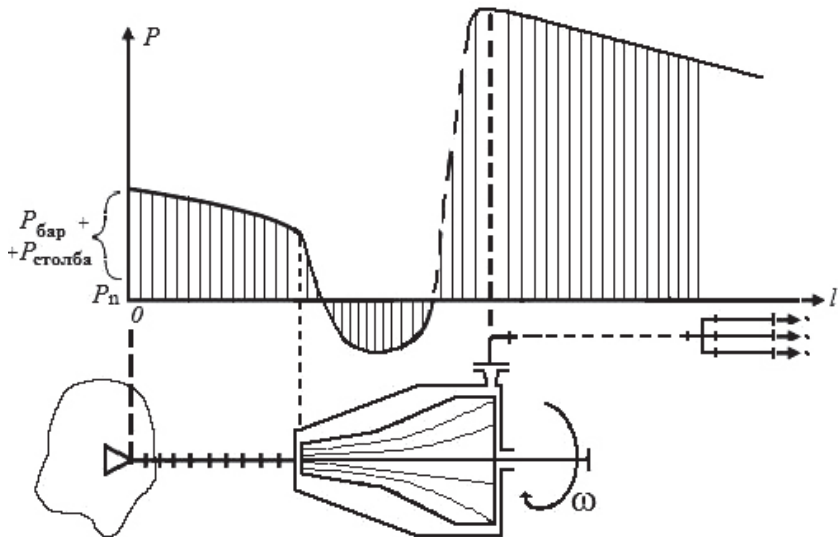


Рис. 3.1. Примерная эпюра напоров в пожарной насосно-рукавной системе при работе насоса в режиме кавитации

Перемещаясь с потоком в область насоса с более высоким давлением, кавитационные пузырьки конденсируются — схлопываются, порождая сильные гидродинамические возмущения, — и происходит гидравлический удар. Таким образом, в потоке создается довольно четко ограниченная кавитационная зона, за-

полненная движущимися пузырьками. При схлопывании движение элементарных струек жидкости к центру пузырька происходит со сверхзвуковой скоростью, практически мгновенно. В момент соударения имеет место локальное мгновенное повышение давления, которое достигает сотен и даже тысяч атмосфер. Из центра сомкнувшейся полости распространяется сферическая ударная волна со скоростью, превышающей скорость звука. Если пузырек находился около стенки детали, то жидкость, заполняющая его, ударяется о стенку, что может вызвать серьезные повреждения.

В лопастных насосах кавитация обычно зарождается на входных кромках лопаток рабочего колеса. Кроме того, кавитационные явления проявляются, когда центробежные насосы работают с существенным превышением номинального режима нагнетания. Действительно, из-за перепада давления между полостями всасывания и нагнетания происходит увеличение расхода утечек и скоростей через уплотнение между корпусом и рабочим колесом. Кавитация, возникающая при циркуляции жидкости внутри насоса, может привести к разрушению рабочего колеса. Однако кавитация может происходить не только в рабочем колесе, но и в направляющем аппарате, хотя здесь она наблюдается сравнительно редко. Следовательно, кавитация может возникать на подвижных и неподвижных элементах проточной части спецагрегата.

Кроме проблем с рабочим колесом и деталями проточной части, из-за кавитации возникает разрушение подшипников и уплотнений. Иногда при сильной вибрации происходит поломка вала. Таким образом, длительное время эксплуатировать насосное оборудование в режиме кавитации нельзя.

Следовательно, возможными причинами появления кавитации, кроме факторов, зависящих от конструктивных особенностей насоса, могут быть такие:

- 1) увеличение подачи насоса сверх номинальной и повышение частоты вращения вала (в этих случаях происходит увеличение скорости жидкости на входе в колесо и падение давления на всасывании);

2) повышение сопротивления во всасывающей линии (в результате установки дополнительной арматуры либо изменения формы провисание и прогибов всасывающих рукавов, засорения всасывающей сетки и т. п.);

3) повышение температуры перекачиваемой жидкости, в т. ч. при длительной работе насоса на холостом ходу.

Можно заключить, что в центробежных насосах, на лопатках рабочего колеса, образуются кавитационные пузырьки, причем их тем больше, чем:

1) выше частота вращения (т. е. чем выше скорость движения рабочих органов относительно жидкости);

2) более неравномерно обтекание жидкостью твердого тела (высокий угол атаки лопасти, наличие изломов, неровностей поверхности и т. п.);

3) выше температура воды;

4) больше разница давлений на выходе насоса и на его входе.

Внешне кавитация сопровождается падением расхода, напора, мощности, КПД и появлением в насосе шума, переходящего иногда в сильный треск и даже грохот.

Низкое абсолютное давление и кавитация могут также наблюдаться при неустановившихся режимах работы насоса: гидравлическом ударе в системе, режиме пуска, остановки и т. п.

Появление немногочисленных кавитационных паровых пузырьков не представляет опасности, а появление значительных паровых областей приводит к снижению параметров насоса.

Таким образом, чрезмерная кавитация, как правило, сопровождается сильным шумом и повреждением насоса; приводит к срыву его работы; средняя кавитация ведет к небольшому снижению подачи, высоты, производительности и преждевременному износу.

2.3. Устранение кавитации

Устранение кавитации обеспечивается рядом мер, принимаемых как при конструировании насосов, так и при их эксплуатации.

Для работы насоса в бескавитационном режиме необходимо обеспечить условия, при которых давление на входе в насос $P_{\text{м1}}$ было бы больше критического, т.е. больше давления насыщенных паров перекачиваемой жидкости при ее данной температуре $P_{\text{п}}$. Отсюда для того, чтобы правильно устранить кавитацию, следует использовать принцип: жидкости на входе в насос должно всегда быть больше, чем на выходе. Поэтому на этапе конструирования насоса необходимо выдержать следующее требование: площадь сечения всасывающего трубопровода (включая всасывающую сетку) всегда должна превышать суммарную площадь сечения напорных задвижек насоса.

При сильном развитии кавитации снижается подача и напор, а также потребляемая мощность, и центробежный консольный насос полностью прекращает работу (срывает подачу). К примеру, если при наличии кавитации постепенно открывать напорную задвижку, то в начале процесса, как и должно быть, подача насоса растет, но в один момент ее значение быстро уменьшается до нуля. Следовательно, для предотвращения этого явления перед входной кромкой лопастей рабочего колеса или во входном патрубке насоса необходимо иметь запас давления, соответствующий повышению скорости, который называют допустимым кавитационным запасом. Это то минимальное давление, в пределах которого у жидкости, попадающей в насос, сохраняется состояние собственно жидкости.

Мерами конструктивного порядка, снижающими склонность насосов к кавитации, являются:

- 1) отливка входных концов лопаток заостренной формы с небольшим радиусом закругления и подбор плавного перехода от тонкой к утолщенной части лопатки;
- 2) применение рабочего колеса первой ступени с двухсторонним подводом жидкости;
- 3) применение в дополнение к рабочему колесу предвключенного колеса-шнека. Пример — модифицированный пожарный насос ПН-60 Б. Шнек с малым числом лопаток 1–3 создает дополнительный подпор на входе в рабочее колесо. Именно шнек вынужден работать в условиях кавитации, которая его разрушает;

4) проектирование колеса первой ступени многоступенчатых насосов с большим коэффициентом быстроходности, чем коэффициент колес последующих ступеней.

Кавитационному разрушению подвержены все металлы, но не в равной мере. Менее стойкими являются алюминиевые сплавы (особенно вторичные) и чугун, подвергавшийся обработке резанием. Более стойкие необработанные чугунные поверхности, еще более стойкие бронза и углеродистая сталь и, наконец, наиболее устойчива аустенитная нержавеющая сталь. Поэтому в конструкциях насосов находят применение кавитационно-стойкие материалы наряду с тщательной обработкой рабочих поверхностей деталей (с минимальными параметрами шероховатости).

В последнее время в насосостроении, наряду с улучшением качества материалов (использованием высококачественных сталей), начали применять защитные покрытия деталей, наиболее подверженных действию кавитации и истиранию. Защитные покрытия могут быть следующих видов:

- 1) наплавка поверхностей кавитационно-стойкими сплавами;
- 2) плазменное напыление сплавов на основе кобальта;
- 3) металлизация поверхностей в холодном состоянии;
- 4) местная поверхностная закалка;
- 5) трехкомпонентное японское лакокрасочное покрытие.

Однако основной мерой борьбы с преждевременным износом проточной части насосов является предупреждение кавитационных режимов их работы.

Предотвращение кавитации при эксплуатации пожарных центробежных насосов достигается:

- 1) выбором места установки пожарных машин с минимально возможной высотой всасывания;
- 2) снижением до минимума потерь во всасывающей линии. Это достигается за счет применения всасывающих рукавов минимальной длины и их прокладкой по возможности без провесов, резких перегибов, исключения засорения всасывающей сетки и т. д.;
- 3) уменьшением частоты вращения вала насоса;

4) использованием подаваемой воды с минимально возможной температурой.

Вместе с тем очевидно, что самым надежным решением является работа пожарного насоса от водопровода.

2.4. Кавитационный запас насоса

Кавитация при работе насоса возникает в случае значительного понижения абсолютного давления $P_{м1}$ у входа в насос.

В ГОСТ 6134—2007, а ранее в стандарте ИСО 2548 введен термин «надкавитационный напор на входе в насос (кавитационный запас) Δh ». Этот термин обозначается $NPSH$ — *Net Positive Suction Head* — чистый гидравлический напор (кавитационный запас) — полный абсолютный напор на всасывании за вычетом напора, соответствующего давлению пара жидкости, отнесенный к оси рабочего колеса насоса, т. е. «базовой плоскости $NPSH$ ». Измеряется высотой столба жидкости на всасывании насоса и имеет размерность для воды метры водяного столба (м вод. ст.).

Согласно ГОСТ 6134—2007 математически $NPSH$ выражается как

$$\Delta h_{и} (NPSH)_{и} = 0,102 \frac{\pm P_{м1} + P_{бар} - P_{п}}{\rho_{и}} + Z_{м1} + 0,0827 \frac{Q_{и}^2}{d_1^4}, \quad (3.1)$$

где $\Delta h_{и} (NPSH)_{и}$ — кавитационный запас насоса для данного режима, м;

$P_{м1}$ — давление жидкости на входе в насос, Па (если мановакуумметр показывает разрежение, то это слагаемое должно быть со знаком «минус»);

$P_{бар}$ — барометрическое давление, которое имело место при испытании насоса, Па;

$P_{п}$ — давление насыщенного пара перекачиваемой жидкости, Па;

$Z_{м1}$ — геометрическая высота расположения манометра (вакуумметра) относительно оси всасывающего патрубка, м;

$Q_{и}$ — подача насоса в данном режиме (для которого определяется кавитационный запас), м³/с;

$\rho_{\text{и}}$ — плотность перекачиваемой воды, кг/м³;

d_1 — диаметр всасывающего патрубка насоса, на котором осуществляется измерение давления, м;

Величины $P_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{и}}$ зависят от температуры. Для воды эти справочные данные приведены в табл. П.2.3.

Анализ зависимости (3.1) показывает, каким образом можно управлять кавитационными процессами и то, что проявление кавитационных процессов в насосе и высота всасывания (которая характеризуется величиной $P_{\text{м1}}$) — вещи взаимосвязанные. Действительно, с увеличением высоты всасывания до максимальной величина кавитационного запаса существенно уменьшается, а кавитация в насосе становится реальной.

Справочные данные. Значение допускаемого кавитационного запаса пожарных центробежных насосов ПН-40УВ, НЦПН-40/100 и НЦПК-40/100–4/400 (ступень нормального давления), а также ПН-60 и ПН-110 не превышает 3,5 м, что соответствует требованиям ГОСТ Р 52283–2004.

Для изучения склонности насоса к кавитации производят кавитационные испытания, в результате которых получают кавитационную характеристику. Согласно ГОСТ 6134–2007 кавитационная характеристика должна быть получена в результате снятия частных кавитационных характеристик насоса. При получении кавитационной характеристики частные кавитационные характеристики должны сниматься при наименьшей, номинальной и наибольшей подачах рабочего диапазона характеристики насоса, которые должны быть представлены в координатах H и кавитационного запаса Δh ($NPSH$). Так, на рис. 3.2 представлены частные кавитационные характеристики, полученные при испытаниях одного из пожарных центробежных насосов.

Из рис. 3.2 следует, что при получении кавитационной характеристики представляется возможным определить имеющийся кавитационный запас $NPSH$ (Δh) — $NPSHA$ для заданной подачи

насоса. Кроме того, для каждой подачи также будет установлен $NPSH_3$ — критический кавитационный запас $\Delta h_{кр}$. Анализ кривых рис. 3.2 также показывает, что для более высоких подач критический кавитационный запас всегда будет выше.

Таким образом, кавитационная характеристика должна быть получена в результате снятия частных кавитационных характеристик $H = f(\Delta h (NPSH))$ для постоянных значений подачи $Q = \text{const}$ и частоты вращения вала $n = \text{const}$ в рабочей области характеристики насоса.

ГОСТ 6134–2007 допускает проводить определение частных кавитационных характеристик при неизменном положении регулирующего подачу органа путем снижения давления на всасывающей линии насоса.

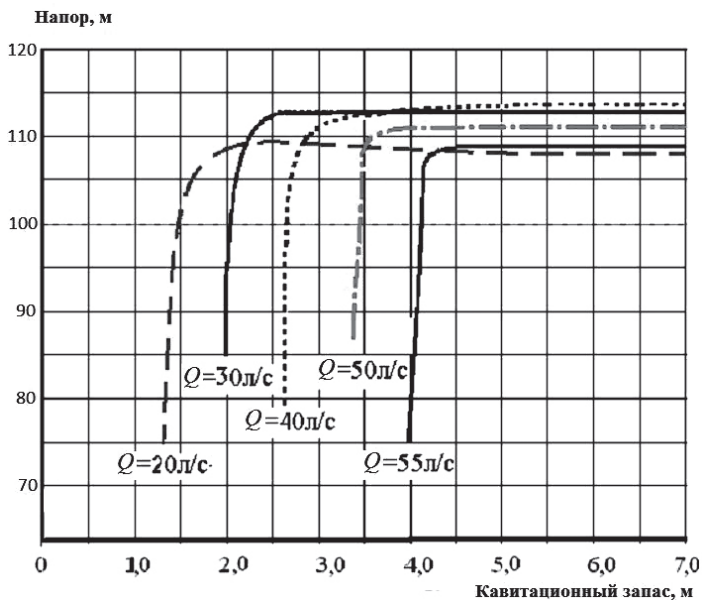


Рис. 3.2. Зависимости кавитационной характеристики пожарного центробежного насоса (по данным «УСПТК–Пожгидравлика»)

Цель лабораторной работы

Цели выполняемой работы следующие:

- 1) демонстрация внешних признаков возникновения кавитации при работе пожарного центробежного насоса;
- 2) снятие кавитационной характеристики пожарного центробежного насоса и определение критического кавитационного запаса.

Задачи

В лабораторной работе преследуются следующие задачи:

- 1) изучить вводные положения и расчетные зависимости;
- 2) экспериментально определить по опытным данным безкавитационные режимы работы пожарного центробежного насоса;
- 3) подготовить отчет о работе и ответы на контрольные вопросы.

Практическое значение приобретенных навыков снятия кавитационной характеристики пожарного центробежного насоса важно:

- 1) для организации правильной и эффективной эксплуатации насосных установок пожарных автомобилей в различных оперативно-тактических условиях;
- 2) обеспечения подготовки выпускников института к эффективному участию в организации и проведении проверок, сертификационных (и иных) испытаний насосных установок, обработке полученных результатов.

3. Методика выполнения лабораторной работы

3.1. Описание испытательной установки

Демонстрация внешних признаков возникновения кавитации при работе пожарного центробежного насоса производится непосредственно на пожарной автоцистерне и без постановки ее на водоисточник.

Снятие кавитационной характеристики насоса производится на открытой испытательной установке, которая состоит из по-

жарного автомобиля, оборудованного насосом центробежным пожарным типоразмера ПН-40, оснащенным штатными манометром и мановакуумметром (оба класса точности 1,5). Кроме того, для измерений атмосферного давления необходим барометр, а для температуры воды в водоисточнике — образцовый термометр с ценой деления 0,1 К (0,1 °С).

Для снятия кавитационной характеристики насоса пожарный автомобиль следует установить на открытый водоисточник по схеме (рис. 3.3). При этом очевидно, что схема соответствует режимам работы насоса с разной степенью загрязнения всасывающей сетки.

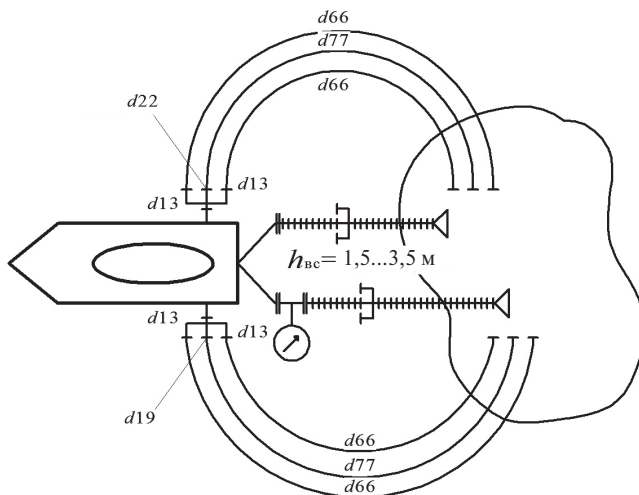


Рис. 3.3. Схема открытой испытательной установки для исследования бескавитационных режимов работы пожарного центробежного насоса со средней степенью загрязнения всасывающей сетки

Для реализации схемы (рис. 3.3) применено следующее пожарное гидравлическое оборудование:

1) две всасывающие линии, каждая из которых включает сетку всасывающую СВ-75, трехходовое разветвление РТ-80, два

напорно-всасывающих рукава диаметром 75 мм, подключенных к одному из патрубков водосборника насоса, а также образцовый вакуумметр класса точности 0,6. Причем для максимального выполнения требования ГОСТ 6134–2007 по минимизации завихрений потока трехходовые разветвления РТ-80 смонтированы в разрыве напорно-всасывающих рукавов;

2) к обоим напорным патрубкам насоса присоединены трехходовые разветвления РТ-80 с мерными шайбами с отверстиями диаметром 19 и 22 мм на центральных штуцерах и диаметром 13 мм на боковых выходных штуцерах;

3) шесть напорных пожарных рукавов диаметром 77 мм или 66 мм, предназначенных для слива.

3.2. Порядок проведения лабораторной работы

Демонстрацию внешних признаков возникновения кавитации при работе пожарного центробежного насоса ввиду дефицита учебного времени целесообразно проводить следующим образом.

1. Запустить двигатель пожарного автомобиля.
2. Заполнить полость насоса водой из емкости автоцистерны (АЦ), для чего полностью открыть задвижку «Из цистерны».
3. Полностью открыть задвижку «В цистерну».
4. Включить сцепление.
5. Рукояткой «ГАЗ» плавно увеличить напоры на коллекторе насоса до максимума.
6. Постепенно плавно прикрывать задвижку «Из цистерны».
7. Наблюдать за внешними признаками проявления кавитации в насосе: металлическим шумом и щелчками, падением давления по манометру.

Снятие кавитационной характеристики пожарного насоса необходимо производить в следующей последовательности.

1. Собрать схему (рис. 3.3).
2. Расставить участников испытания для измерения параметров.
3. Измерить и занести в протокол экспериментов (колонки 2, 3, с. 55–56) значения атмосферного давления по барометру и температуры воды в водоисточнике соответственно.

4. Запустить двигатель АЦ и заполнить полость насоса и всасывающих рукавов водой.

5. Включить сцепление.

6. При давлении 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) по манометру плавно полностью открыть правую и левую напорные задвижки на коллекторе насоса.

7. Затем полностью открыть задвижки на всех штуцерах трехходовых разветвлений РТ-80, присоединенных к напорным патрубкам пожарного насоса.

8. Рукояткой «ГАЗ» задать номинальную частоту вращения вала рабочего колеса насоса.

9. В протоколе экспериментов зафиксировать давление на входе и выходе насоса. Затем посредством прикрытия задвижек центральных штуцеров трехходовых разветвлений РТ-80 на входе в насос поток дросселировать, т. е. постепенно понижать давление на входе, поддерживая при этом ранее заданное значение подачи насоса (при помощи напорных вентилей). Для этого на 1/3 прикрыть центральную задвижку разветвления РТ-80 на правой всасывающей линии. В колонке 12 протокола зафиксировать соответствующие показания образцового вакуумметра ($P_{м1}$, Па) на всасывающем патрубке насоса и величину напора по манометру (колонка 10) на его коллекторе.

10. Затем еще на 1/3 прикрыть центральную задвижку разветвления РТ-80 на правой всасывающей линии. Внести в протокол величины давлений на входе и выходе насоса.

11. Полностью перекрыть центральную задвижку разветвления РТ-80 на правой всасывающей линии. Зафиксировать в протоколе экспериментов величины давлений на входе и выходе насоса.

12. На 1/3 прикрыть центральную задвижку разветвления РТ-80 на левой всасывающей линии. Величины давлений на входе и выходе насоса запротokolировать.

13. Еще на 1/3 прикрыть центральную задвижку разветвления РТ-80 на левой всасывающей линии. Вновь зафиксировать давление на входе и выходе насоса.

Давление на входе следует понижать до тех пор, пока не будет зафиксирован явный срыв напора и выход насоса в кавитационный режим. Таким образом, по результатам эксперимента получим пять-шесть точек на кривой частной кавитационной характеристики $H = f(\Delta h (NPSH))$.

4. Обработка экспериментальных данных

Подача насоса Q в каждом испытании определяется следующим образом.

1. По показаниям манометра насоса и по известным диаметрам отверстий дозирующих шайб, установленных на штуцерах трехходовых разветвлений РТ-80, и с помощью табл. П.2.1 (либо см. табл. 2.1 НПБ 163–97 «Пожарная техника. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний») устанавливаем подачу насоса. Данные заносим в колонку 9 протокола экспериментов.

2. Полный напор определяем по формуле ГОСТ 6134–2007 (в первом приближении напор можно определять как разницу давлений на выходе и входе в насос)

$$H = H_2 - H_1.$$

3. Кавитационный запас $\Delta h_{\text{и}} (NPSH)_{\text{и}}$ для каждого опыта вычисляется по формуле (3.1); необходимые при этом значения давления насыщенных паров $P_{\text{п}}$ и плотность перекачиваемой воды $\rho_{\text{и}}$ приведены в табл. П.2.3.

Все результаты вычислений занести в протокол испытаний.

4. По данным протокола строим частную кавитационную характеристику — зависимость полного напора насоса от кавитационного запаса. Очевидно, что кавитационный запас зависит, главным образом, от давления на входе в насос, остальные параметры квазистационарны. В результате должна получиться характеристика примерно как на рис. 3.1. Обычно строят несколько частных кавитационных характеристик для различных значений подачи.

5. Далее уже по частным кавитационным характеристикам определяем те точки (значения), которые выбираем в качестве контрольных (или критических). Это могут быть точки, в которых полный напор первой ступени насоса падает на 3 % относительно первоначальных значений (тех, которые были на горизонтальном участке частной кавитационной характеристики). И это согласно ГОСТ 6134—2007 будет критическим кавитационным запасом $\Delta h_{кр}$, т. е. $NPSH3$.

Однако с точки зрения практики пожаротушения важнее существенное падение напора, скажем, точки, в которых отмечается падение напора более чем на 10—20 %. Далее определяем координаты этих точек по оси абсцисс, которые и будут значениями критического кавитационного запаса.

Вопросы для подготовки к защите работы

1. Поясните значение термина «насыщенный пар».
2. Давление насыщенного пара потока жидкости: какова физика процесса в ситуации, когда внешнее давление падает ниже давления насыщенного пара?
3. Характерные признаки кавитационных эффектов при работе насосов. Приведите примеры.
4. Какими конструктивно-техническими решениями достигается предотвращение кавитации на этапе конструирования насоса?
5. Какие материалы более устойчивы к кавитации?
6. Что такое кавитационный запас насоса?
7. Как влияют на возникновения кавитации в насосе:
 - 1) температура воды в открытом водоисточнике;
 - 2) высота расположения водоисточника над уровнем моря;
 - 3) высота всасывания;
 - 4) величина расхода воды, поданной на тушение либо охлаждение?
8. Какими решениями достигается профилактика кавитации при эксплуатации пожарных центробежных насосов?

**Протокол экспериментов по снятию кавитационной характеристики
пожарного центробежного насоса марки**

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Барометрическое давление, $P_{\text{бар}}$, Па	Температура воды t , °С	Упругость насыщен- ного водяного пара $P_{\text{нп}}$, Па	Плотность перекачи- ваемой воды $\rho_{\text{н}}$, кг/м³	Диаметр всасываю- щего патрубка насоса d_1 , м	Степень прикрытия центр.л. вентиля разветвлений РТ на входе в насос	Диаметр отверстий мерных шайб и их кол-во (шт.) на раз- ветвлениях РТ на выходе, $\varnothing \times \text{шт.}$, кг/м³	Подача насоса $Q_{\text{н}}$, кг/кг	Показания манометра $h_{\text{ман}}$, м	Показания мановаку- уметра $h_{\text{вак}}$, м	Давление воды на входе в насос $P_{\text{м1}}$, м	Кавитационный запас $\Delta h_{\text{н}} (NPSH)_{\text{н}}$, м	
						0,118	Оба откр.	22-1+19-1+13-4					
						«	Прав.на 1/3	«					
						«	Прав.на 2/3	«					
						«	Прав.на 3/3	«					
						«	Лев.на 1/3	«					
						«	Лев.на 2/3	«					
						«	Оба откр.	22-1+19-1+13-3					
						«	Прав.на 1/3	«					
						«	Прав.на 2/3	«					
						«	Прав.на 3/3	«					
						«	Лев.на 1/3	«					
						«	Лев.на 2/3	«					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
					0,118	Оба откр.	22·1+19·1+13·2					
					«	Прав.на 1/3	«					
					«	Прав.на 2/3	«					
					«	Прав.на 3/3	«					
					«	Лев.на 1/3	«					
					«	Лев.на 2/3	«					
					«	Оба откр.	22·1+19·1+ 13·1					
					«	Прав.на 1/3	«					
					«	Прав.на 2/3	«					
					«	Прав.на 3/3	«					
					«	Лев.на 1/3	«					
					«	Лев.на 2/3	«					
					«	Оба откр.	22·1+19·1					
					«	Прав.на 1/3	«					
					«	Прав.на 2/3	«					
					«	Прав.на 3/3	«					
					«	Лев.на 1/3	«					
					«	Лев.на 2/3	«					

Подпись студента_____

Подпись преподавателя_____

Группа № _____

Дата _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Снятие гидравлической характеристики пеносмесителя

1. Общие теоретические сведения

Струйные насосы используются в пожарной технике в качестве пеносмесителей, водоборочных гидроэлеваторов, стволов для получения и подачи воздушно-механической пены.

Струйный насос позволяет поднимать на высоту или подавать на расстояние подсасываемую жидкость, порошок, аэрозоль, воздух.

Струйные насосы относятся к классу динамических насосов. По природе преобладающих сил, действующих на жидкость при работе струйных насосов, последние относятся к смешанному виду. Перекачиваемая среда получает энергию в струйных насосах за счет действия на нее как массовых сил, так и сил трения.

Принципиальная схема струйного насоса показана на рис. 4.1.

При работе струйного насоса поток рабочей жидкости Q_1 , выходящий из насадки 1 в горловину 3, увлекает воздух из вакуум-камеры 2. В камере 2 создается разрежение. Под действием атмосферного давления в разреженное пространство вакуум-камеры 2 поступает эжектируемая жидкость Q_2 , которая захватывается потоком рабочей жидкости Q_1 . В горловине диффузора 4 оба по-

тока (Q_1 и Q_2) смешиваются. В диффузоре 4 скорость (скоростной напор) уменьшается и увеличивается пьезометрический напор (давление).

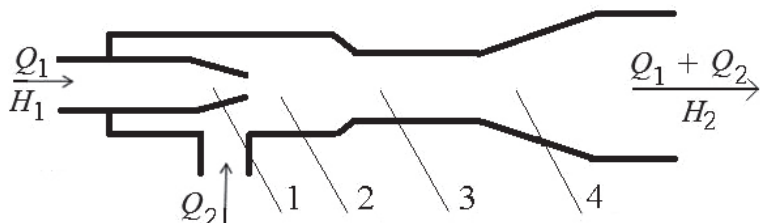


Рис. 4.1. Принципиальная схема струйного насоса:

1 — насадка; 2 — вакуум камера; 3 — горловина; 4 — диффузор

Струйные насосы характеризуются следующими основными параметрами:

коэффициентом эжекции

$$\alpha = \rho_2 Q_2 / \rho_1 Q_1 ; \quad (4.1)$$

коэффициентом подпора

$$\beta = P_2 / P_1 = H_2 / H_1 ; \quad (4.2)$$

коэффициентом полезного действия

$$\eta = \alpha \beta, \quad (4.3)$$

где ρ_2, ρ_1 — плотность эжектируемой и рабочей среды, кг/м^3 ; Q_2, Q_1 — подача эжектируемого вещества (жидкости) и рабочей жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; P_2, H_2 — абсолютное (полное) давление (напор) на выходе из диффузора (т.е. подпор), ата; P_1, H_1 — абсолютное (полное) давление (напор) рабочей жидкости перед насадкой, ата.

Каждый из приведенных показателей оказывает влияние на качество раствора, приготавливаемого пеноносителем пожарного насоса, и, в конечном счете, на качество пены и эффективность ее применения. Поэтому обеспечение работоспособности пено-

смесителя в процессе эксплуатации пожарного насоса является одной из важных задач технической службы пожарной охраны.

Согласно действующим нормативным документам: приказу МЧС России от 18.09.2012 г. № 555 «Об организации материально-технического обеспечения системы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», типовой технологии технического обслуживания пожарных автомобилей, диагностированию технического состояния пожарных автомобилей (Типовая технология) — в течение периода эксплуатации проводится проверка работы пеносмесителя пожарного насоса:

- при ТО-1, т. е. через 1500 км приведенного пробега, не реже одного раза в месяц;
- при ТО-2 (через 7000 км приведенного пробега, не реже одного раза в год).

Кроме того, при сертификационных испытаниях пожарных насосов согласно НПБ 176—98 (п. 23 и 48) проводится проверка системы дозирования пенообразователя.

Практическое значение приобретенных в ходе данной лабораторной работы навыков методики проверки технического состояния пеносмесителей насосных установок пожарных автомобилей важно:

- 1) для организации правильной и эффективной эксплуатации струйных пожарных насосов, в т. ч. пеносмесителей;
- 2) определения технического состояния пеносмесителя и принятия решения о необходимости проведения ремонтных и иных воздействий;
- 3) обеспечения подготовки выпускников института к эффективному участию в организации и проведении инспекторских проверок, сертификационных (и иных) испытаний насосных установок и обработке полученных результатов.

Цель лабораторной работы

Лабораторная работа проводится в целях закрепления теоретических знаний обучаемых по теме «Оборудование для забора и по-

дачи огнетушащих веществ» и практического освоения методики испытаний пеносмесителей пожарных насосов согласно требованиям действующих нормативных документов.

Задачи

В ходе проведения лабораторной работы студентам следует:

- 1) изучить вводные теоретические положения и расчетные зависимости, последовательность выполнения работы;
- 2) экспериментально определить по опытным данным техническое состояние (работоспособность) пеносмесителя пожарного центробежного насоса;
- 3) подготовить отчет о работе и ответы на контрольные вопросы.

2. Методика выполнения лабораторной работы

2.1. Описание лабораторной установки

Установка для снятия гидравлической характеристики пеносмесителя и проведения испытания пеносмесителя пожарного насоса типоразмера ПН-40 состоит из пожарного автомобиля, оборудованного насосом центробежным пожарным, который оснащен штатными манометром и мановакуумметром (оба класса точности 1,5).

Для снятия гидравлической характеристики пеносмесителя пожарный автомобиль следует установить либо на гидрант (при этом необходимо обеспечить перепад напора в напорной и всасывающей полости насоса по манометру и мановакуумметру 50 м вод. ст.), либо на открытый водоисточник по схеме (рис. 4.2) с подключением следующего пожарного гидравлического оборудования:

- всасывающей рукавной линии, состоящей из двух всасывающих рукавов и сетки всасывающей СВ-125;
- двух трехходовых разветвлений РТ-80 с мерными шайбами с отверстиями диаметром 22 мм на центральном выходном и диаметром 16 мм на боковых штуцерах;

- шести сливных пожарных рукавов диаметром 77 или 66 мм;
- мерного бака вместимостью 40 л;
- штатного рукава класса КЩ для забора пенообразователя из посторонней емкости;
- образцового вакуумметра (класса точности 0,6) для измерения разряжения в вакуумной камере пеносмесителя;
- секундомера.

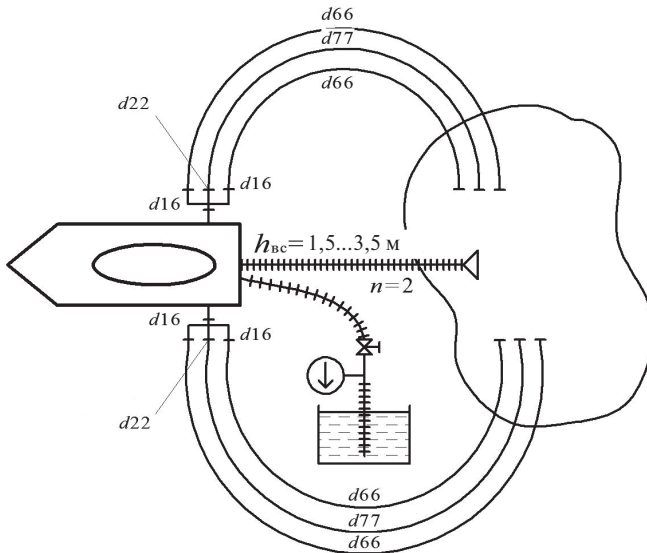


Рис. 4.2. Схема установки для определения технического состояния пеносмесителя насосной установки пожарного автомобиля

2.2. Порядок проведения лабораторной работы

Снятие гидравлической характеристики пеносмесителя проводится с помощью воды, эжекцию (подсос) которой в единицу времени можно определить с помощью мерного бака и секундомера в следующей последовательности.

1. Отвернуть заглушку на трубопроводе для забора пенообразователя из постороннего источника и рукавом класса КЩ (предназначенного для растворов кислот и щелочей), оснащенным образцовым вакуумметром, соединить с мерным баком, наполненным водой.

2. Заполнить полость насоса всасывающих рукавов водой.

3. Включить сцепление.

4. При давлении 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) по манометру плавно полностью открыть на коллекторе насоса правую и левую напорные задвижки.

5. Затем плавно полностью открыть вентиль центрального напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к правой напорной задвижке насоса, и рычагом газа довести давление по манометру насоса до требуемого (например, 0,5 МПа).

6. Стрелку на кране-дозаторе пеносмесителя установить в положение «5».

7. Открыть пробковый кран пеносмесителя.

8. Открыть пробковый кран на трубопроводе для забора пенообразователя из постороннего источника.

9. Результаты измерений величин давления по манометру P_1 , разряжения во всасывающем патрубке насоса по мановакуумметру P_2 , а также разряжения в вакуумной камере пеносмесителя по образцовому вакуумметру $P_{\text{БАК}}$ и время опорожнения мерного бака занести в протокол экспериментов (с. 63).

10. Уменьшить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и при давлении 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) по манометру плавно полностью открыть вентили крайних напорных патрубков разветвления РТ, присоединенного к правой напорной задвижке насоса, и рычагом газа довести давление по манометру насоса до требуемого (например, 0,5 МПа). Результаты измерений давления по манометру P_1 , разряжения во всасывающем патрубке по мановакуумметру P_2 , а также разряжения в вакуумной камере пеносмесителя по образцовому вакуумметру $P_{\text{БАК}}$ и время истечения контрольного объема воды из мерного бака запротоколировать.

Протокол экспериментов по снятию гидравлической характеристики пеносмесителя пожарного насоса марки

Открытые вентили на разветвлениях РТ	Давление P_1 , МПа		Давление P_2 , МПа		Давление в пеносмесителе $P_{\text{вск}}$, МПа		Эжекция из мерного бака		Податочная насоса	Коэффициенты		
	мано-метр	абсол.	вакуум-метр	абсол.	м	абсол.	τ , с	Q_2 , л/с	Q_1 , л/с	$\alpha = Q_2/Q_1$	$\beta = P_2/P_1$	$\eta = \alpha\beta$
ПР — центральный	0,3	0,4										
ПР — оба крайних	0,3	0,4										
Лев — централ.	0,3	0,4										
Лев — оба крайних	0,3	0,4										
ПР — центральный	0,5	0,6										
ПР — оба крайних	0,5	0,6										
Лев — централ.	0,5	0,6										
Лев — оба крайних	0,5	0,6										
ПР — центральный	0,7	0,8										
ПР — оба крайних	0,7	0,8										
Лев — централ.	0,7	0,8										
Лев — оба крайних	0,7	0,8										
ПР — центральный	0,9	1,0										
ПР — оба крайних	0,9	1,0										
Лев — централ.	0,9	1,0										
Лев — оба крайних	0,9	1,0										

Подпись студента _____

Подпись преподавателя _____

Работа защищена _____

Группа № _____

Дата _____

11. Затем аналогично пп. 6–10 открыть вентиль центрального напорного патрубка разветвления РТ, присоединенного к левой напорной задвижке насоса, а потом и вентили крайних напорных патрубков разветвления РТ. Результаты измерений давления по манометру P_1 , разряжения во всасывающем патрубке по мановакуумметру P_2 , а также разряжения в пеносмесителе по вакуумметру $PP_{\text{БАК}}$ и время опорожнения мерного бака занести в протокол.

12. Работу насоса необходимо обеспечить поочередно на четырех режимах (давление 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 МПа). Давление регулировать изменением частоты вращения коленвала двигателя. После окончания работы на каждом режиме пробковый кран на подводящем рукаве КЩ к пеносмесителю следует закрывать, мерный бак заполнять водой и насос переводить на следующий режим работы.

13. Результаты измерений P_1 , P_2 , $P_{\text{БАК}}$ и время опорожнения мерного бака при каждом из четырех режимов необходимо занести в протокол экспериментов.

Для проведения испытаний стационарного пеносмесителя выполнить работы, предусмотренные п. 1–10.

1. На насосе установить давление $P_1 = 0,5$ МПа (5 атм).

2. Установить стрелку крана-дозатора пеносмесителя поочередно в одно из пяти проверяемых положений и открыть пробковый кран пеносмесителя.

3. Открыть пробковый кран из мерного бака для проверки пеносмесителя и определить время эжекции контрольного объема воды. Полученные значения параметров пеносмесителя необходимо занести в протокол испытаний (с. 65). Затем данные значения сопоставить с нормативными значениями эжекции пресной воды.

Положение дозатора	Подача воды, эжектируемой пеносмесителем ПС-5, л·с ⁻¹
--------------------	--

1.....	0,28–0,41
2.....	0,56–0,82
3.....	0,84–1,23
4.....	1,12–1,54
5.....	1,40–2,05

Протокол испытаний пеносмесителя пожарного насоса марки

Положение стрелки на шкале лимба пеносмесителя	Давление на выходе из насоса P_1 , МПа	Давление на входе в насос P_2 , МПа	Подача воды от пожарного насоса Q_1 , л/с	Эжекция воды из мерного бака		Нормативное значение подачи воды, эжектируемой пеносмесителем, л/с	Выводы
				Время t , с	Подача Q_2 , л/с		
1	0,5					0,28—0,41	
2	0,5					0,56—0,72	
3	0,5					0,84—1,23	
4	0,5					1,12—1,54	
5	0,5					1,40—2,05	

Подпись слушателя _____
Подпись преподавателя _____
Работа защищена

Группа № _____
Дата _____

3. Обработка экспериментальных данных

Коэффициент эжекции a вычисляется по экспериментальным данным по формуле (4.1). При этом объемная подача центробежного пожарного насоса определяется по известным диаметрам мерных шайб после разветвлений РТ, давлению на выходе из насоса (по манометру) и справочным числовым данным табл. П.2.1 (либо см. табл. 2.1 НПБ 163–97 «Пожарная техника. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний»).

Затем вычисляют коэффициент подпора β . Для определения коэффициента подпора β в формулу (4.2) следует подставлять величины абсолютных (полных) давлений, развиваемых пожарным насосом.

Абсолютное (полное) давление $P_{\text{АБС}}$ (ата) определяется как сумма атмосферного (барометрического) $P_{\text{БАР}}$ (атм) и манометрического (избыточного по отношению к атмосферному) давлений $P_{\text{МАН}}$ (ати)

$$P_{\text{АБС}} = P_{\text{БАР}} + P_{\text{МАН}}$$

где $P_{\text{БАР}} = 10$ м вод. ст. (атм); $P_{\text{МАН}}$ — показания манометра на коллекторе насоса, м вод. ст. (ати).

Очевидно, что абсолютное давление $P_{\text{АБС}}$ равно барометрическому $P_{\text{БАР}}$ в том случае, если $P_{\text{МАН}} = 0$.

При определении величины абсолютного (полного) давления $P_{\text{АБС}}$ (ата) во всасывающем патрубке насоса, где давление меньше атмосферного,

$$P_{\text{АБС}} = P_{\text{БАР}} - P_{\text{ВАК}}$$

где $P_{\text{БАР}} = 1$ атм (10 м вод. ст.); $P_{\text{ВАК}}$ — показания вакуумметра на всасывающем патрубке насоса, атм (м вод. ст.).

Справочные данные. Если значение вакуума $P_{\text{ВАК}}$ в данной точке жидкости равно, например, 4 м вод. ст., то это значит, что абсолютное давление $P_{\text{АБС}}$ в этой точке равно 6 м вод. ст. Дру-

гими словами, вакуум в данной точке жидкости есть недостаток давления в этой точке до атмосферного — барометрического, поскольку абсолютное (полное) давление в жидкости должно быть положительным, т. е. $P_{\text{АБС}} \geq 0$. Минимальное манометрическое давление, или максимальный вакуум, достигает следующих значений

$$P_{\text{МАН}} = -1 \text{ атм, или } -10 \text{ м вод. ст.}$$

Эжекция воды пеносмесителем Q_2 (л·с⁻¹) вычисляется по формуле

$$Q = V_6^{\text{в}} / \tau,$$

где $V_6^{\text{в}}$ — контрольный объем воды в мерном баке, л; τ — время опорожнения мерного бака, с.

Эжекция пенообразователя пеносмесителем вычисляется по формуле

$$Q_3^{\text{по}} = k Q_2,$$

где k — коэффициент, учитывающий различие в вязкости и удельном весе пресной воды и пенообразователя, $k = 0,83...0,87$.

По результатам расчетов строятся графики зависимостей:

- 1) зависимости α , η , $P_{\text{вак}}$, Q_2 , Q_1 от величины P_1 ;
- 2) зависимость $\alpha = f(\beta)$;
- 3) зависимость $\eta = f(\beta)$.

При этом для повышения эффективности при обработке полученных экспериментальных данных целесообразнее воспользоваться возможностями пакета прикладных программ MathCAD или табличного процессора Excel, которые предоставляют средства интерполяции данных: позволяют построить график аппроксимирующей кривой; автоматически получить уравнение аппроксимирующей функции; предсказать дальнейшее поведение функции.

Анализ полученных результатов выполняется по результатам снятия гидравлической характеристики пеносмесителя: делается

вывод о зависимости подачи пеносмесителя от давления рабочей жидкости перед ним. Результаты проведенного испытания пеносмесителя сравниваются с табличными и делается вывод о техническом состоянии пеносмесителя.

В выводах по лабораторной работе перечисляются выявленные неисправности пеносмесителя данного центробежного пожарного насоса и формулируются задания по их устранению.

Вопросы для подготовки к защите работы

1. Привести примеры струйных насосов и их применения в пожарной технике.
2. Какие приборы служат для получения воздушно-механической пены?
3. Назначение, устройство, принцип действия и тактико-технических характеристик (ТТХ) пеногенераторов и стволов.
4. Назначение, устройство, принцип действия и ТТХ пеносмесителя ПС-5.
5. Назначение, устройство, принцип действия и ТТХ пеносмесителя АСД.
6. Каковы неисправности пеносмесителей центробежных насосов: их признаки, причины и способы устранения?
7. Перечислите работы по техническому обслуживанию пеносмесителя насосов пожарных автомобилей при КО, ЕТО, на пожаре, ТО-1, ТО-2, СО.
8. Какова методика проведения испытаний стационарного пеносмесителя?

ЛАБОРАТОРНО-РАСЧЕТНАЯ РАБОТА № 5

Определение параметров, влияющих на аварийную безопасность пожарного автомобиля

1. Общие теоретические сведения

Сохранение или изменение режима движения пожарного автомобиля (ПА), как любой механической системы, зависит от соотношения действующих внешних сил, изменение которого может происходить по разным причинам. К их числу относятся не только управляющие силы со стороны водителя, но и различного рода случайные силы, вызываемые различными причинами, к которым относятся наезд на неровности дороги, наклон дороги, боковые порывы ветра, прохождение автомобилем поворота и др. В результате действия данных сил ПА может потерять устойчивость.

Под устойчивостью автомобиля понимают совокупность свойств, определяющих критические параметры по устойчивости его движения и положения. Эти свойства обеспечивают движение ПА в различных дорожных условиях без опрокидывания и скольжения колес. Устойчивость зависит как от особенностей конструкции транспортного средства, схемы его загрузки и т.д., так и от соотношения внешних сил, т.е. от возмущений, действующих на автомобиль.

Потери устойчивости ПА классифицируют:

- 1) по виду — продольная, поперечная;
- 2) по результату — скольжение, опрокидывание, занос, отклонение от траектории движения, отклонение от курса;
- 3) по режиму движения, при котором наступила потеря устойчивости, — статическая потеря устойчивости, динамическая.

Основными оценочными показателями устойчивости являются: критические скорости по боковому скольжению и опрокидыванию; критические углы косогора по боковому скольжению и опрокидыванию; коэффициент поперечной устойчивости; критические скорости по курсовой устойчивости. Кроме отмеченных, в теории и практике используются и другие показатели, прямо или косвенно характеризующие устойчивость автомобиля.

Наиболее часто нарушение устойчивости автомобиля наблюдается в плоскости, перпендикулярной его продольной оси, и проявляется в боковом скольжении колес или опрокидывании. При этом возмущающими силами могут быть поперечная составляющая сила тяжести на косогоре (рис. 5.1), центробежная сила на повороте (рис. 5.2), аэродинамические силы.

При движении по дороге с поперечным уклоном (по косогору) на ПА действуют следующие силы (рис. 5.1).

Согласно схеме условие равновесия автомобиля на косогоре относительно вероятного центра опрокидывания точки О можно записать в виде уравнения

$$R_{\text{л}}B + G_{\text{А}}\sin\beta h_{\text{о}} - G_{\text{А}}\cos\beta B/2 = 0,$$

где $R_{\text{л}}$ — нормальная реакция левых колес, Н;

B — колея автомобиля, м;

$G_{\text{А}}$ — сила тяжести автомобиля, Н;

β — угол поперечного наклона полотна дороги, град.;

$h_{\text{о}}$ — расстояние от центра тяжести до опорной поверхности, м.

В момент начала опрокидывания через точку О реакция левых колес, в связи с их отрывом от опорной поверхности, будет равна нулю, тогда тангенс угла опрокидывания можно выразить как

$$\operatorname{tg}\beta_{\text{опп}} = B/2 h_{\text{о}}. \quad (5.1)$$

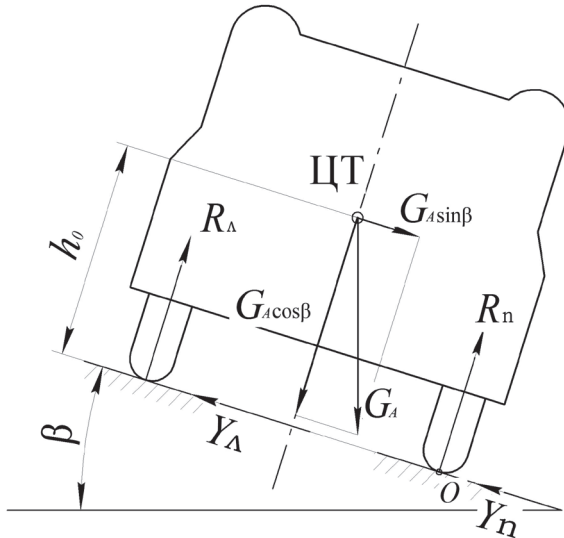


Рис. 5.1. Схема сил, действующих на автомобиль при движении по дороге с поперечным уклоном

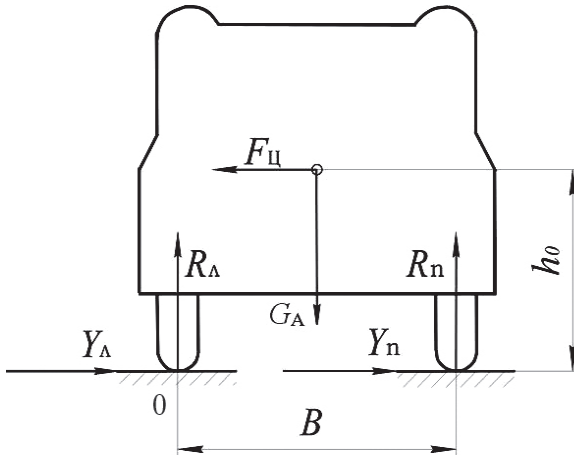


Рис. 5.2. Схема сил, действующих на автомобиль при движении на повороте

Условие движения ПА по косогору без бокового скольжения (заноса) колес можно найти из предположения, что сцепление всех колес одинаково, а боковые реакции колес распределяются аналогично составляющим силы тяжести

$$Y_{\text{л}} + Y_{\text{п}} = G_{\text{А}} \sin \beta = \varphi G_{\text{А}} \cos \beta, \quad (5.2)$$

где $Y_{\text{л}}$, $Y_{\text{п}}$ — боковые реакции левых и правых колес соответственно, Н;

φ — коэффициент сцепления колес с дорогой.

Из равенства (5.2) видно, что сумма боковых реакций левых и правых колес численно равна поперечной составляющей силы тяжести, направленной параллельно дороге, и уравнивается силой сцепления колес с дорогой. Отсюда тангенс угла бокового скольжения (заноса) колес автомобиля можно записать

$$\operatorname{tg} \beta_{\text{СК}} = \varphi.$$

Боковое скольжение будет предшествовать опрокидыванию автомобиля в случае, если

$$\operatorname{tg} \beta_{\text{СК}} < \operatorname{tg} \beta_{\text{ОПР}},$$

или
$$\varphi < B/2h_0. \quad (5.3)$$

При движении автомобиля по косогору передние и задние колеса находятся в разных условиях, поскольку боковые реакции ведущих колес меньше, поэтому ведущие колеса начинают скользить раньше, чем неведущие (чаще передние), т. к. ведущие колеса уже в значительной степени исчерпали возможности сцепления с дорогой и резерв по сцеплению для восприятия боковой силы у них ограничен.

Часто на практике встречаются случаи потери поперечной устойчивости автомобиля при движении на повороте, когда на него действует центробежная сила (рис. 5.2)

$$F_{\text{ц}} = G_{\text{А}} V_{\text{А}}^2 / gR,$$

где $V_{\text{А}}$ — скорость движения автомобиля на повороте, м·с⁻¹;

R — радиус поворота, м.

Рассматривая силы на рис. 5.2, можно записать условие равновесия автомобиля на повороте относительно вероятного центра опрокидывания точки О

$$R_{\Pi}B + F_{\Pi}h - G_A B/2 = 0,$$

где R_{Π} — нормальная реакция правых колес, Н;

F_{Π} — центробежная сила инерции, Н.

В начальный момент опрокидывания, при отрыве правых колес от опорной поверхности, их нормальная реакция будет равна нулю, тогда скорость движения автомобиля на повороте без опрокидывания может быть найдена как

$$V_A \leq (BgR / 2h_o)^{1/2}. \quad (5.4)$$

Боковое скольжение колес при повороте автомобиля начнется в том случае, когда сумма боковых реакций колес достигнет величины силы сцепления колес с дорогой

$$Y_L + Y_{\Pi} = \phi G_A.$$

Поскольку максимальные боковые реакции колес имеют место при максимальной центробежной силе, можно записать

$$\phi G_A = G_A V_{A \max}^2 / gR,$$

откуда

$$\phi = V_{A \max}^2 / gR. \quad (5.5)$$

Условием предварительного скольжения (заноса) колес перед опрокидыванием на повороте является также неравенство (5.3)

$$\phi < B/2h_o.$$

Конструктивный параметр $B/2h_o$ называется коэффициентом поперечной устойчивости автомобиля и обозначается

$$K_{\Pi\gamma} = B/2h_o.$$

Таким образом, при заданной колее автомобиля B величина коэффициента поперечной устойчивости зависит только от вы-

соты центра тяжести h_0 . Чем больше h_0 , тем с меньшим углом β можно преодолеть косогор и с меньшей скоростью $V_{A \max}$ осуществить поворот. Другими словами, чем шире колея автомобиля и ниже расположение центра тяжести, тем устойчивее машина на поворотах и участках с поперечным уклоном.

Согласно ГОСТ Р 53328–2009 «Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний» параметрами устойчивости пожарных автомобилей, определяемых при сертификационных испытаниях, являются:

1) угол поперечной устойчивости ПА в полной оперативной готовности — должен быть не менее 30° (п. 5.1.15) (измерение углов поперечной статической устойчивости проводят на обе стороны ПА);

2) компоновка составных частей на раме — должна обеспечивать распределение массы ПА между осями в соответствии с нормативно-технической документацией на конкретное шасси. При этом нагрузка на управляемую ось должна составлять не менее 25 % от полной массы, а нагрузка на колеса правого и левого бортов должны быть равными с допустимым отклонением (± 1) % от полной массы (п. 5.3.2);

3) высота расположения центра тяжести цистерны с водой — должна быть не более 700 мм от верхней полки лонжеронов рамы ПА (п. 5.3.6);

4) внутри цистерны перегородки (волноломы), которые должны делить цистерну на сообщающиеся отсеки объемом не более 1500 л каждый. При этом при ширине цистерны более 80 % размера колен задних наружных колес установка продольного волнолома обязательна (п. 5.6.8).

Практическое значение приобретенных в ходе данной лабораторно-расчетной работы навыков методики определения параметров, влияющих на аварийную безопасность пожарного автомобиля, важно:

1) для грамотной организации безаварийной эксплуатации ПА в различных дорожных и климатических условиях;

2) методического обеспечения эффективного участия выпускников института в организации и проведении инспекторских проверок, сертификационных (и иных) испытаний ПА и обработке полученных результатов.

Цель работы

Лабораторная работа проводится в целях закрепления теоретических знаний обучаемых по теме и практического освоения методики проверки уровня аварийной безопасности пожарного автомобиля в условиях эксплуатации.

Задачи лабораторно-расчетной работы

В задачи лабораторной работы входит:

- 1) изучение вводных теоретических положений, физических и расчетных зависимостей;
- 2) определение экспериментальным путем распределения нагрузки на колесах обоих бортов, а также распределения нагрузки по осям (развесовка) ПА и на основании полученных данных расчет —
 - координаты центра тяжести пожарного автомобиля;
 - показателей аварийной безопасности пожарного автомобиля (максимальный угол преодолеваемого косогора по опрокидыванию и по заносу, максимальная скорость на повороте по опрокидыванию и по заносу);
- 3) подготовка отчета о работе и ответов на контрольные вопросы.

2. Методика выполнения лабораторной работы

2.1. Описание лабораторной установки

Работа выполняется на модели ПА (в 1/12 натуральной величины) на базовом шасси двухосного грузового автомобиля ЗИЛ-4331, нагруженной до значения полной массы. Для изме-

рения колеи и базы модели автомобиля, а также статических радиусов колес применяется штангенциркуль с пределами измерений 0–250 мм и ценой деления 0,1 мм. Для определения нагрузки на колеса используются электронные весы настольные марки МК-3.2-А20 (Масса-К) с пределами измерений 0–3,0 кг и погрешностью измерений 0,5 г. Для определения коэффициентов продольного и поперечного сцепления φ_x и φ_y колес модели автомобиля с опорной поверхностью применяется лабораторный динамометр. Для контроля за углом подъема дороги α и углом поперечного уклона (косогора) β на пожарной надстройке автомобиля устанавливается угломер. Параметры инструментария следует занести в форму «Приборы и инструменты».

Технические характеристики инструментария

Наименование прибора или инструмента	Измеряемый параметр		Точность измерения
	Единица измерения	Пределы измерения	
1. Штангенциркуль			
2. Весы			
3. Транспортёр			
4. Динамометр			

Колеса поднимаемой оси устанавливаются на подставке, исключающей скатывание пожарного автомобиля. Для предотвращения скатывания автомобиля при подъеме колес одной оси используются противооткатные упоры.

2.2. Порядок проведения лабораторной работы

Экспериментальная часть лабораторно-расчетной работы основана на использовании законов классической механики (принцип Даламбера и др.). Для обеспечения надежности $N = 0,9 \dots 0,95$ каждый опыт следует проводить не менее 2–3 раз.

1. Для определения коэффициентов сцепления φ_x и φ_y колеса модели ПА следует:

1) обеспечить торможение (блокировку) всех колес модели автомобиля посредством клейкой ленты — скотча либо куска изоленты;

2) модель ПА взвесить на электронных весах;

3) для моделирования ситуации равномерного скольжения модель ПА помещают на горизонтальную опорную поверхность;

4) за передний и задний бамперы модели ПА закрепить буксирные веревки-шнурки;

5) равномерно буксировать ПА по опорной поверхности за буксирные веревки-шнурки с помощью лабораторного динамометра в продольном и поперечном к оси ПА направлениях;

6) по показаниям лабораторного динамометра, ось которого при эксперименте располагается параллельно опорной поверхности, определяются необходимые для этого тяговые усилия;

7) результаты измерений занести в протокол испытаний по определению коэффициентов сцепления колес.

Протокол испытаний по определению коэффициентов продольного и поперечного сцепления колес модели ПА с опорной поверхностью

Полная масса P_a , кг	Сила тяги P_T , Н, в продольном направлении/вектор движения ПА	φ_x	Сила тяги P_T , Н, в поперечном направлении/вектор движения ПА	φ_y	Среднеарифметическое значение φ
	/Вперед		/Правым бортом		
	/Задний		/Левым бортом		
	/Вперед		/Правым бортом		
	Среднее значение		Среднее значение		

2. Для определения распределения нагрузки на колеса обоих бортов ПА необходимо (рис. 5.3):

1) установить модель автомобиля на специальной горизонтальной площадке, расположенной на одном уровне с платформой электронных весов;

2) на платформу электронных весов устанавливать поочередно колеса правого и левого бортов модели. При этом, для

предотвращения движения модели, колеса борта грузовика, расположенные на горизонтальной площадке, фиксировать противооткатными упорами;

3) по показаниям весов определить нагрузки $R_{\text{л}}$ и $R_{\text{п}}$ на колеса правого и левого бортов модели ПА соответственно. Данные занести в протокол испытаний по определению нагрузки на колеса.

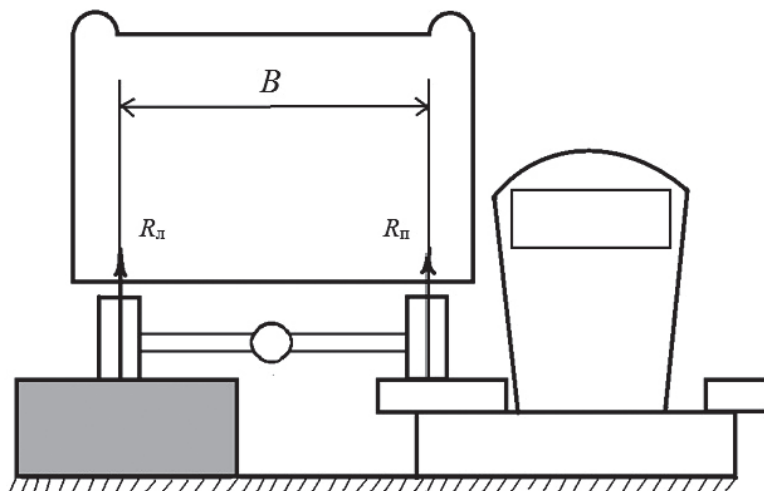


Рис. 5.3. Схема установки пожарного автомобиля для определения распределения нагрузки на колеса его обоих бортов

Протокол испытаний по определению распределения нагрузки на колеса обоих бортов модели ПА

Нагрузка на борт	Результаты измерений, Н				Отклонение от полной массы, %
	1	2	3	Среднее значение	
Левый $R_{\text{л}}$					
Правый $R_{\text{п}}$					

3. Для определения распределения нагрузки по осям (развески) ПА необходимо (рис. 5.4):

1) установить модель автомобиля на горизонтальной площадке, расположенной на одном уровне с платформой электронных весов;

2) на платформу электронных весов устанавливать поочередно переднюю или заднюю оси модели. При этом, для предотвращения движения модели, колеса грузовика фиксировать противооткатными упорами;

3) по показаниям весов определить нагрузки R_1 и R_2 на соответственно переднюю и заднюю оси модели ПА;

4) полученные данные занести в протокол испытаний по определению нагрузки по осям.

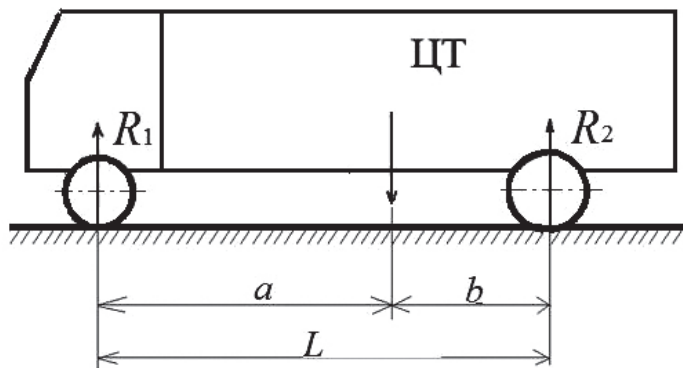


Рис. 5.4. Схема установки для определения распределения нагрузки по осям пожарного автомобиля

Протокол испытаний по определению распределения нагрузки по осям модели ПА

Нагрузка на ось	Результаты измерений, Н				Процент от полной массы
	1	2	3	Среднее значение	
Переднюю R_1					
Заднюю R_2					

4. Для определения нагрузки на заднюю ось модели ПА при ее подъеме следует (рис. 5.5):

1) установить модель 1 на горизонтальной площадке, расположенной на одном уровне с платформой электронных весов 2. Тормоза реального автомобиля должны быть отпущены, рычаг переключения передач — в нейтральном положении. Накачать шины колес всех осей автомобиля до максимально допустимого давления. Блокировать подвеску. Для модели ПА последнее требование может быть выполнено с помощью скотча. Зафиксировать противооткатными упорами 3 колеса, которые не будут подниматься для установки на подставку;

2) поднять колеса задней оси ПА и установить их на подставки. Высота подставок должна быть такой, чтобы угол α подъема автомобиля не превышал 10–15°;

3) по показаниям электронных весов определить нагрузку R_2 на заднюю ось модели ПА;

4) результаты опытов занести в протокол испытаний по определению показателей аварийной безопасности ПА.

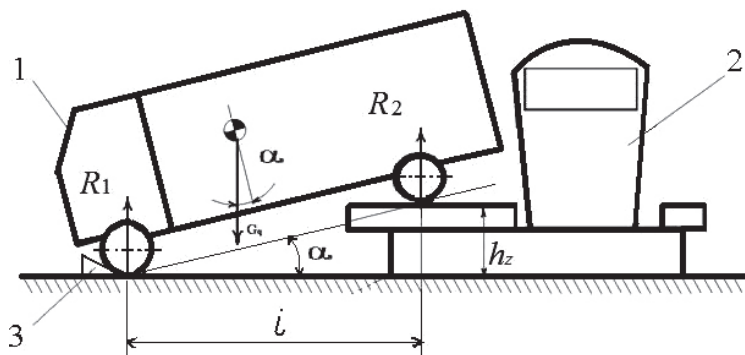


Рис. 5.5. Схема установки пожарного автомобиля для определения высоты его центра тяжести:

1 — модель; 2 — электронные весы; 3 — противооткатные упоры

Протокол испытаний по определению показателей аварийной безопасности пожарного автомобиля

Номер опыта	G	b	G_2	α	h_z	$\operatorname{tg}\alpha$	h	h_0	Коэф. поперечн. устойчив	Угол опрокидывания	Угол заноса
1											
2											
Среднее											

Протокол расчетов по определению порога скорости движения ПА на повороте по опрокидыванию/скольжению

Технические параметры	Радиус поворота, R , м								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коэффициент сцепления ϕ									
Колея ПА B , мм									
Высота центра тяжести ПА h_0 , мм									
Скорость ПА V , км/ч									

Подпись студента _____ Группа № _____
 Работу принял _____ Дата _____

3. Обработка экспериментальных данных

Исходные данные и результаты опытов заносятся в указанные в п. 2 формы. Исходя из проведенных измерений необходимо использовать среднеарифметические значения параметров.

1. Коэффициенты сцепления φ_x и φ_y вычисляют по следующему соотношению

$$\varphi = P_m / G_A,$$

где P_m — сила тяги, измеренная лабораторным динамометром, Н;
 G_A — сила тяжести ПА, Н.

2. После определения нагрузки на колеса обоих бортов производят проверку: нагрузка на колеса правого и левого бортов должны быть равными с допустимым отклонением (± 1) % от полной массы автомобиля.

Кроме того, нагрузка на управляемую ось должна составлять не менее 25 % от полной массы ПА (п. 5.3.2 ГОСТ Р 53328–2009).

3. Расчет высоты центра масс ПА начинается с определения расположения центра масс по продольной оси модели относительно осей автомобиля. При этом ПА рассматривается как балка, опертая по концам.

Распределение массы по осям (развесовка) автомобиля определяется по следующим соотношениям:

$$G_1 = bG/L,$$

$$G_2 = aG/L,$$

где G_1 и G_2 — нагрузки на переднюю и заднюю оси модели ПА;

b — расстояние от задней оси до центра масс автомобиля;

G — масса ПА, $G = G_1 + G_2$;

L — база — расстояние между осями модели ПА;

a — расстояние от передней оси до центра масс автомобиля.

Отсюда

$$a = G_2 L / G,$$

$$b = G_1 L / G.$$

После данных вычислений производится проверка

$$a + b = L.$$

Затем заднюю ось ПА поднимают на высоту и с помощью электронных весов измеряют нагрузку, приходящуюся на нее. При этом высота центра масс ПА будет определена

$$h_0 = \frac{G_h L - Gb}{G \operatorname{tga}} + r,$$

где r — статический радиус колеса, мм.

Тангенс угла подъема можно определить по формуле

$$\operatorname{tga} = h_z / i,$$

где h_z — высота подъема задней оси автомобиля;

i — проекция расстояния между осями, т.е. базы автомобиля на горизонтальную плоскость, при уклоне опорной поверхности ПА на угол a к горизонту.

4. Критического угол преодолеваемого косогора по условиям опрокидывания определяется в следующей последовательности.

Зная высоту центра масс автомобиля h_0 , тангенс угла опрокидывания при движении по дороге с поперечным уклоном можно вычислить по формуле (5.1)

$$\operatorname{tg} \beta_{\text{онп}} = B / 2h_0,$$

а затем угол опрокидывания

$$\beta_{\text{онп}} = \operatorname{arctg} (B / 2h_0).$$

5. Определить критический угол преодолеваемого косогора по условиям заноса (боковому сползанию) можно, применив соотношение (5.3)

$$\varphi_y < B / 2h_0, \text{ т.е. } \beta = \operatorname{arctg} \varphi_y.$$

6. Определить критическую скорость на повороте по опрокидыванию представляется возможным по формуле (5.4) и с учетом выражения (5.3)

$$V_A > (gRB / 2h_0)^{1/2} = (\varphi gR)^{1/2}.$$

Зная значения колеи B и высоты центра масс h_0 пожарного автомобиля и задаваясь радиусом кривой полотна дороги R 20–100 м, следует вычислить критическую скорость движения ПА по опрокидыванию. Результаты расчетов занести в протокол расчетов по определению порога скорости движения ПА.

7. Определить критическую скорость на повороте по скольжению (заносу).

Из формулы (5.5) следует, что скольжение (занос) ПА наступит при

$$V_{A \max} = (\varphi g R)^{1/2}.$$

При известном φ , задаваясь радиусом поворота, следует вычислить максимально возможную скорость движения ПА по скольжению (заносу).

По полученным результатам строятся графики поперечной устойчивости $V_{A \text{ опр}} = f(R)$ и $V_{A \text{ зан}} = f(R)$, по которым определяется критическая скорость движения ПА на повороте радиусом 50 м.

Вопросы для подготовки к защите работы

1. Какие показатели характеризуют аварийную безопасность пожарного автомобиля?
2. Что называется устойчивостью пожарного автомобиля?
3. Как классифицируют потери устойчивости пожарного автомобиля?
4. Какие силы действуют на пожарный автомобиль при повороте?
5. Назовите показатели поперечной устойчивости пожарного автомобиля против опрокидывания и заноса. По каким формулам эти показатели вычисляются?
6. От каких факторов зависит критическая скорость, определяемая по условиям заноса и опрокидывания?
7. От каких факторов зависит максимальный угол косогора, определяемый по условиям заноса и опрокидывания?

8. Что такое коэффициент поперечной устойчивости пожарного автомобиля?

9. Занос какого моста пожарного автомобиля вероятнее и почему?

10. Как влияет на поперечную устойчивость степень заполнения цистерны?

11. Какие показатели аварийной безопасности ухудшаются при неравном распределении силы веса между колесами ПА?

12. От чего зависит продольная устойчивость пожарного автомобиля?

13. Какой из пожарных автомобилей: полностью заполненная автоцистерна или автолестница (АКП) — обладает большей аварийной безопасностью при следовании к месту вызова и почему?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной список

Машины и аппараты пожаротушения / П. П. Алексеев [и др.]. ; под ред. Н. Ф. Бубыря. Москва : ВШ МВД СССР, 1972. 528 с.

Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины, гидроприводы / Т. М. Башта. Москва : Машиностроение, 1982. 424 с.

Безбородько М. Д. Пожарная техника : учебник / М. Д. Безбородько. Москва : Академия МЧС России, 2004. 550 с.

Безбородько М. Д. Насосы центробежные пожарные нового поколения : учебное пособие / М. Д. Безбородько, А. В. Плосконосов. Москва : Академия ГПС МЧС России, 2011. 54 с.

Пожарные машины и противопожарное оборудование / Н. Б. Кашеев [и др.]. Москва : Стройиздат, 1966. 312 с.

Литвинов А. С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств : учебник / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. Москва : Машиностроение, 1989. 240 с.

Терентьев В. Б. Пожарные насосы и их эксплуатация : учебное пособие / В. Б. Терентьев, А. В. Филиппов. Екатеринбург : УРИ ГПС МЧС России, 2009. 164 с.

Трушин В. И. Пожарные автолестницы / В. И. Трушин. Москва : 1971. 188 с.

Яковенко Ю. Ф. Техническая диагностика пожарных автомобилей / Ю. Ф. Яковенко. Москва : Стройиздат, 1989. 288 с.

Яременко Д. В. Испытание насосов / Д. В. Яременко. Москва : Машиностроение, 1976. 230 с.

Основные нормативно-правовые акты

РФ. Законы. О пожарной безопасности [Электронный ресурс] : федер. закон № 69 : [от 21.12.1994]. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант». Загл. с экрана.

РФ. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : федер. закон № 123 : [от 22.07.2008]. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант». Загл. с экрана.

ГОСТ 17398—72. Насосы. Термины и определения. Москва : Издательство стандартов, 1989. 36 с.

ГОСТ 6134—2007 (ИСО 9906:1999). Насосы динамические. Методы испытаний. Москва : Стандартинформ, 2008. 95 с.

ГОСТ Р 52283—2004. Насосы центробежные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. Москва : Стандартинформ, 2005. 20 с.

ГОСТ Р 53328—2009. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний. Москва : Стандартинформ, 2009. 45 с.

Об утверждении порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны МЧС России [Электронный ресурс] : приказ МЧС России № 156 : [от 31.03.2011]. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант». Загл. с экрана.

Об организации материально-технического обеспечения системы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [Электронный ресурс] : приказ МЧС России № 555: [от 18.09.2012]. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант». Загл. с экрана.

Правила охраны труда в подразделениях ГПС МЧС России [Электронный ресурс] : приказ Минтруда России № 1100 Н : [от 23.12.2014]. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант». Загл. с экрана.

Диагностирование технического состояния пожарных автомобилей. Типовая технология. Москва : ВНИИПО МВД СССР, 1991. 119 с.

Типовая технология технического обслуживания пожарных автомобилей : приказ ГУГПС МВД РФ № 20/41/1323 : [от 10.07.1995] / ГУГПС МВД РФ. [Б. г.] : [б. и.], 1995. [Б. п.].

Дополнительный список

Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. Москва : Мир, 1974. 348 с.

Акуличев В. А. Кавитация в криогенных и кипящих жидкостях / В. А. Акуличев. Москва : Наука, 1978. 280 с.

Левковский Ю. Л. Структура кавитационных течений / Ю. Л. Левковский. Ленинград : Судостроение, 1977. 222 с.

Иванов А. Н. Гидродинамика развитых кавитационных течений. / А. Н. Иванов. Ленинград : Судостроение, 1980. 237 с.

Пирсол И. Кавитация / И. Пирсол ; пер. с англ. Ю. Ф. Журавлева ; Под ред., с предисл. и доп. Л. А. Эпштейна. Москва : Мир, 1975. 96 с.

Перник А. Д. Проблемы кавитации / А. Д. Перник. 2-е изд. Ленинград : Судостроение, 1966. 435 с.

Рождественский В. В. Кавитация / В. В. Рождественский. Ленинград : Судостроение, 1977. 248 с.

Федоткин И. М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов) / И. М. Федоткин, И. С. Гулый. Киев : Полиграфкнига, 1997. Ч. 1. 940 с.

Шестаков С. Д. Основы технологии кавитационной дезинтеграции / С. Д. Шестаков. Москва : ЕВА пресс, 2001. 173 с.

Пат. 2277081 Российская Федерация, МПК F24J3/00. Теплопорогенератор / А. Г. Кочуров : заявл. 11.01.2005 ; опубл. 10.06.2006. [Б. п.].

Пат. 2142604 Российская Федерация, МКИ 6F 24 J 3/00. Способ получения энергии и резонансный насос-теплогенератор / Петраков А. Д. : заявл. 26.01.1998 ; опубл. 10.12.1999. [Б. п.].

Пат. 2231004 Российская Федерация МКИ 6F 24 J 3/00. Роторный кавитационный насос-теплогенератор / Петраков А. Д., Радченко С. М., Яковлев О. П. : заявл. 23.10.2002 ; опубл. 20.06.2004. [Б. п.].

Пат. 2245729 Российская Федерация, МКИ A62C27/00. Способ подогрева воды в пожарной автоцистерне / Савин М. А. [и др.] ; заявл. 03.12.2003 ; опубл. 10.02.2005. [Б. п.].

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОТЧЕТ

О лабораторной работе №

Цель лабораторной работы

Условия испытаний

Далее необходимо привести схему установки и сделать краткое описание хода лабораторной работы.

Полученные результаты и их анализ.

Выполнить расчетную часть лабораторной работы по приведенным формулам. Привести сводные таблицы, графики и аппроксимирующие функции.

Итоговый(-е) вывод(ы) по работе

Специальное звание, Ф. И. О. обучаемого

Работу принял

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П.2.1

**Гидравлические характеристики насадок
(выписка из НПБ 163–97 «Пожарная техника.
Основные пожарные автомобили»)**

Напор у насадки, м вод.ст.	Подача, л/с, при диаметре насадки, мм					
	13	16	19	22	25	28
10	1,8	2,8	3,8	5,2	6,7	8,5
11	1,9	2,9	4,1	5,5	7,1	8,9
12	2,0	3,0	4,3	5,7	7,4	9,3
13	2,1	3,1	4,4	5,9	7,7	9,6
14	2,2	3,3	4,6	6,2	8,0	10,0
15	2,2	3,4	4,8	6,4	8,3	10,4
16	2,3	3,5	4,9	6,6	8,5	10,7
17	2,4	3,6	5,1	6,8	8,8	11,0
18	2,4	3,7	5,2	7,0	9,0	11,3
19	2,5	3,8	5,4	7,2	9,3	11,7
20	2,6	3,9	5,5	7,4	9,5	12,0
21	2,6	4,0	5,6	7,6	9,8	12,3
22	2,7	4,1	5,8	7,7	10,0	12,5
23	2,8	4,2	5,9	7,9	10,2	12,8
24	2,8	4,3	6,0	8,1	10,4	13,1
25	2,9	4,4	6,2	8,2	10,7	13,4
26	2,9	4,5	6,3	8,4	10,9	13,6
27	3,0	4,5	6,4	8,6	11,1	13,9
28	3,0	4,6	6,5	8,7	11,3	14,1
29	3,1	4,7	6,6	8,9	11,5	14,4
30	3,2	4,8	6,7	9,0	11,7	14,6
31	3,2	4,9	6,9	9,2	11,9	14,9
32	3,3	4,9	7,0	9,3	12,1	15,1
33	3,3	5,0	7,1	9,5	12,2	15,4
34	3,4	5,1	7,2	9,6	12,4	15,6
35	3,4	5,2	7,3	9,8	12,6	15,8

Продолжение табл. П.2.1

Напор у насадки, м вод.ст.	Подача, л/с, при диаметре насадки, мм					
	13	16	19	22	25	28
36	3,5	5,2	7,4	9,9	12,8	16,0
37	3,5	5,3	7,5	10,0	13,0	16,3
38	3,6	5,4	7,6	10,2	13,1	16,5
39	3,6	5,5	7,7	10,3	13,3	16,7
40	3,6	5,5	7,8	10,4	13,5	16,9
41	3,7	5,6	7,9	10,6	13,6	17,1
42	3,7	5,7	8,0	10,7	13,8	17,3
43	3,8	5,7	8,1	10,8	14,0	17,5
44	3,8	5,8	8,2	10,9	14,1	17,7
45	3,9	5,9	8,3	11,1	14,3	17,9
46	3,9	5,9	8,3	11,2	14,5	18,1
47	3,9	6,0	8,4	11,3	14,6	18,3
48	4,0	6,0	8,5	11,4	14,8	18,5
49	4,0	6,1	8,6	11,6	14,9	16,7
50	4,1	6,2	8,7	11,7	15,1	18,9
51	4,1	6,2	8,8	11,8	15,2	19,1
52	4,1	6,3	8,9	11,9	15,4	19,3
53	4,2	6,4	9,0	12,0	15,5	19,5
54	4,2	6,4	9,0	12,1	15,7	19,6
55	4,3	6,5	9,1	12,2	15,8	19,8
56	4,3	6,5	9,2	12,3	15,9	20,0
57	4,3	6,6	9,3	12,5	16,1	20,2
58	4,4	6,6	9,4	12,6	15,2	20,4
59	4,4	6,7	9,5	12,7	16,4	20,5
60	4,5	6,8	9,5	12,8	16,5	20,7
61	4,5	6,8	9,6	12,9	16,6	20,9
62	4,5	6,9	9,7	13,0	16,8	21,0
63	4,6	6,9	9,8	13,1	16,9	21,2
64	4,6	7,0	9,8	13,2	17,0	21,4
65	4,6	7,0	9,9	13,3	17,2	21,5
66	4,7	7,1	10,0	13,4	17,3	21,7
67	4,7	7,1	10,1	13,5	17,4	21,9
68	4,7	7,2	10,2	13,6	17,6	22,1
69	4,8	7,2	10,2	13,7	17,7	22,3
70	4,8	7,3	10,3	13,8	17,8	22,4

Окончание табл. П.2.1

Напор у насадки, м вод.ст.	Подача, л/с, при диаметре насадки, мм					
	13	16	19	22	25	28
71	4,9	7,4	10,4	13,9	18,0	22,5
72	4,9	7,4	10,4	14,0	18,1	22,7
73	4,9	7,5	10,5	14,1	18,2	22,8
74	5,0	7,6	10,6	14,2	18,3	23,0
75	5,0	7,6	10,7	14,3	18,5	23,1
76	5,0	7,6	10,7	14,4	18,6	23,3
77	5,1	7,7	10,8	14,5	18,7	23,5
78	5,1	7,7	10,9	14,6	18,8	23,6
79	5,1	7,8	10,9	14,7	18,9	23,8
80	5,2	7,8	11,0	14,8	19,1	23,9
81	5,2	7,9	11,1	14,9	19,2	24,1
82	5,2	7,9	11,1	15,0	19,3	24,2
83	5,2	8,0	11,2	15,0	19,4	24,4
84	5,3	8,0	11,3	15,1	19,5	24,5
85	5,3	8,0	11,3	15,2	19,6	24,6
86	5,3	8,1	11,4	15,3	19,8	24,8
87	5,4	8,1	11,5	15,4	19,9	24,9
88	5,4	8,2	11,5	15,5	20,0	25,1
88	5,4	8,2	11,6	15,6	20,1	25,2
90	5,5	8,3	11,7	15,7	20,2	25,4

Таблица П.2.2

**Номинальные значения основных параметров
пожарных насосов**

Тип насоса	Подача, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ (л $\cdot \text{с}^{-1}$)	Напор, м	Частота вращения вала, с^{-1} (об $\cdot \text{мин}^{-1}$)
ПН-40У	0,040 (40)	100 (± 5)	45 (2700)
НЦПН-40/100	0,040 (40)	100 (± 5)	45 (2700)
НЦПН-70/100 М	0,070 (70)	100 (± 5)	33 (2000)
НЦПН-100/100 М	0,100 (100)	100 (± 5)	33 (2000)
НЦПВ-20/200	0,020 (20)	200	45 (2700)

Таблица П.2.3

**Зависимость давления насыщенных паров
и плотности пресной воды от ее температуры**

Температура, °С	Давление пара, Па	Плотность, кг/м ³	Температура, °С	Давление пара, Па	Плотность, кг/м ³
2	705,9	999,92	16	1816,9	998,88
4	812,9	1000,00	18	2062,3	998,54
6	934,9	999,94	20	2336,9	998,20
8	10072,0	999,84	22	2641,9	997,74
10	1227,1	999,70	24	2982,2	997,32
12	1401,5	999,48	26	3359,7	996,84
14	1597,4	999,20	28	3778,5	996,30

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Правила при выполнении лабораторных работ	5
 Лабораторная работа № 1. Снятие напорной характеристики пожарного центробежного насоса	8
1. Общие теоретические сведения	8
2. Методика выполнения лабораторной работы	12
2.1. Описание лабораторной установки	12
2.2. Порядок проведения лабораторной работы	13
3. Обработка экспериментальных данных	16
Вопросы для подготовки к защите работы	17
 Лабораторная работа № 2. Определение технического состояния пожарного насоса	21
1. Общие теоретические сведения	21
2. Методика выполнения лабораторной работы	26
2.1. Описание лабораторной установки	26
2.2. Порядок проведения лабораторной работы	26
3. Обработка экспериментальных данных	30
Вопросы для подготовки к защите работы	34

Лабораторно-расчетная работа № 3. Снятие кавитационной характеристики пожарного центробежного насоса.....	36
1. Общие теоретические сведения	36
2. Физическое явление кавитации.....	37
2.1. Полезные применения кавитации	38
2.2. Кавитация в насосах	40
2.3. Устранение кавитации.....	43
2.4. Кавитационный запас насоса.....	46
3. Методика выполнения лабораторной работы.....	49
3.1. Описание испытательной установки.....	49
3.2. Порядок проведения лабораторной работы	51
4. Обработка экспериментальных данных	53
Вопросы для подготовки к защите работы.....	54

Лабораторная работа № 4. Снятие гидравлической характеристики пеносмесителя	57
1. Общие теоретические сведения	57
2. Методика выполнения лабораторной работы.....	60
2.1. Описание лабораторной установки	60
2.2. Порядок проведения лабораторной работы	61
3. Обработка экспериментальных данных	66
Вопросы для подготовки к защите работы.....	68

Лабораторно-расчетная работа № 5. Определение параметров, влияющих на аварийную безопасность пожарного автомобиля	69
1. Общие теоретические сведения	69
2. Методика выполнения лабораторной работы.....	75
2.1. Описание лабораторной установки	75
2.2. Порядок проведения лабораторной работы	76
3. Обработка экспериментальных данных	81
Вопросы для подготовки к защите работы.....	84

Библиографический список	86
Основной список	86
Основные нормативно-правовые акты	87
Дополнительный список	88
Приложение 1	90
Приложение 2	91

Учебное издание

Савин Михаил Александрович,
Клочков Игорь Владимирович

ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Редактор *И. В. Меркурьева*
Верстка *Е. В. Ровнушкиной*

Подписано в печать 30.05.2017. Формат 60×84 1/16.
Бумага писчая. Цифровая печать. Усл. печ. л. 5,8.
Уч.-изд. л. 4,7. Тираж 50 экз. Заказ 156.

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620000, Екатеринбург-83, ул. Тургенева, 4
Тел.: 8 (343) 350-90-13, 358-93-06, 350-58-20
Факс: 8 (343) 358-93-06
<http://print.urfu.ru>

Для заметок



САВИН МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях» УрФУ, полковник внутренней службы в отставке.

Автор свыше 80 научных и методических работ, в том числе монографии и 12 патентов РФ на изобретения и полезные модели.

Лауреат премии Национальной академии наук пожарной безопасности.

Круг научных интересов: эффективное инженерное обеспечение оперативных действий пожарно-спасательных подразделений в низкотемпературных условиях; адаптация пожарной техники к условиям эксплуатации.



КЛОЧКОВ ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ

Заведующий кафедрой «Защита в чрезвычайных ситуациях» УрФУ.

Награжден нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

Автор свыше 10 научных и методических работ.

В круг его научных интересов входит применение робототехники при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.